Manual de Viveros para la Producción de Especies Forestales en Contenedor

Volumen Dos
Contenedores y Medios de Crecimiento

Capítulo 2
Medios de Crecimiento

Thomas D. Landis, Especialista en Viveros, Región Oeste, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Dasonomía Estatal y Privada, Portland, Oregon, E.U.A.

Landis, T. D. 1990. Containers: Types and Functions. In Landis, T. D.; Tinus, R. W.; McDonald, S. E.; Barnett, J. P. The Container Tree Nursery Manual, Volume 2. Agric. Handbk. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service: 41-89.

Contenido

	Página
2.2.1 Introducción	**44**
2.2.1.1 Terminología	44
2.2.1.2 La necesidad de un "suelo artificial"	44
Volumen restringido	44
Tabla de agua	44
Desbalance de microorganismos del suelo	44
Carencia de estructura del suelo	44
2.2.1.3 Historia de los medios de crecimiento artificiales	44
2.2.2 Funciones de un Medio de Crecimiento	**46**
2.2.2.1 Agua	46
2.2.2.2 Aire	46
2.2.2.3 Nutrientes minerales	46
2.2.2.4 Soporte físico	46
2.2.3 Características de un Medio de Crecimiento Ideal	**47**
2.2.3.1 Características relacionadas con el crecimiento de la planta	47
pH ligeramente ácido	47
Alta capacidad de intercambio catiónico	49
Baja fertilidad inherente	50
Apropiado balance del tamaño de los poros	52
Libre de plagas y enfermedades	57
2.2.3.2 Características que afectan las operaciones en vivero	57
Costo razonable y disponibilidad	57
Alto grado de uniformidad y ser reproducibles	58
Baja densidad	58
Estabilidad dimensional	59
Durabilidad y facilidad de almacenamiento	59
Facilidad de mezclado y de llenado de los contenedores	59
Facilidad de rehumedecimiento	59
Formación de un cepellón firme	60
2.2.4 Componentes Utilizados en la Formulación de Medios de Crecimiento para Especies Forestales	**61**
2.2.4.1 Componentes orgánicos	61
Función del componente orgánico	61
Turba de musgo	61
Aserrín, corteza y otros materiales orgánicos composteados	65
2.2.4.2 Componentes inorgánicos	66
Función del componente inorgánico	66
Vermiculita	67
Perlita	68
Otros materiales inorgánicos	69
2.2.5 Seleccionando un Medio de Crecimiento	**71**
2.2.5.1 Interacciones entre el medio de crecimiento y las prácticas culturales	71
Prácticas de riego y fertilización	71
Tipo de contenedor	72
Etapa de cultivo	72
2.2.5.2 Consideraciones prácticas	72
Costo y disponibilidad	72
Aptitud de la planta	73
2.2.5.3 Medios de crecimiento comerciales	74
2.2.5.4 Medios de crecimiento hechizos	75
2.2.5.5 Comparación de medios de crecimiento comerciales y sustratos hechizos	75
Control de calidad	75
Capacidad para "afinar" el sustrato	75
Tiempo y trabajo	75
Incorporación de fertilizantes y otros productos correctores	76
Mezclado uniforme	76

Contenido

	Página
2.2.6 Mezclado de Sustratos Hechizos - Procedimientos y Consideraciones	**77**
2.2.6.1 Equipo y procedimientos	77
Mezclado de lotes pequeños	77
Mezclado mecanizado	77
2.2.6.2 Incorporación de fertilizantes y de otros materiales	78
Piedra caliza	78
Fertilizantes	79
Humectantes	79
Súper absorbentes	79
Inóculo micorrízico	80
2.2.6.3 Pasteurización o esterilización	80
2.2.6.4 Problemas de sobremezclado y de compactación	81
2.2.7 La Importancia de una Compactación Adecuada del Medio de Crecimiento	**83**
2.2.8 Conclusiones y Recomendaciones	**85**
2.2.9 Literatura Citada	**86**

2.2.1 Introducción

2.2.1.1 Terminología

Muchos diferentes términos han sido empleados para denominar el **suelo artificial** usado en el cultivo con contenedores en viveros, incluyendo **suelo en contenedor**, **mezcla en contenedor**, **mezcla de suelo**, **composta**, y **medio de crecimiento** (así como sustrato). Es inadecuado el uso del término **suelo** cuando uno se refiere al empleo de tales materiales, ya que el suelo rara vez es un componente del medio de crecimiento en los viveros que usan contenedores en los Estados Unidos y Canadá. El término **mezcla** algunas veces es utilizado pues muchos de esos materiales están compuestos de diversos materiales, aunque algunos viveros forestales utilicen solamente un material (por ejemplo turba de musgo) como sustrato. Con el propósito de evitar confusión y ser consistentes, los términos **medio de crecimiento o sustrato,** serán empleados a lo largo de este manual, ya que son los más apropiados y que más difícilmente originan confusión. La solución acuosa absorbida por, y que rodea a las partículas del medio de crecimiento será denominada **solución del medio de crecimiento o solución del medio.**

2.2.1.2 La necesidad de un "suelo artificial"

Cuando la gente inicialmente comenzó a cultivar plantas en contenedor, utilizó suelo de campo ordinario, pero pronto encontró que tal práctica daba lugar a problemas de cultivo. El simple hecho de poner suelo en un contenedor, produce condiciones hortícolas que son diferentes de aquellas que se dan con suelo de campo no restringido a un contenedor.

Volumen restringido. Las plantas que crecen en contenedor tienen acceso a una cantidad muy limitada de sustrato, en comparación con las plantas que son cultivadas en campo (Swanson, 1989). Las plantas de especies forestales, en particular, son cultivadas en contenedores de muy poco volumen, con un intervalo de 40 a más de 700 cm^3 (2.5 a 45 pulgadas cúbicas). Tan limitado volumen para la raíz, deriva en que las plantas tienen pocas reservas de agua disponible y de nutrientes, además de que la disponibilidad de tales recursos esenciales puede cambiar rápidamente (Van Eerden, 1974).

Tabla de agua. Por su naturaleza, los contenedores crean una tabla de agua porque este líquido no puede drenarse libremente del fondo del contenedor (Swanson, 1989). La capa de sustrato saturado creada al fondo del contenedor tiene efectos marcados en las propiedades físicas y hortícolas del medio de crecimiento. (Ver capítulo 2, volumen cuatro de este manual).

Desbalance de microorganismos del suelo. Los suelos naturales contienen millones de microorganismos, algunos benéficos y algunos fitopatógenos. Estos organismos existen en un estado natural de balance en el campo, pero cuando estos suelos son puestos en contenedor, en el favorable ambiente de cultivo de un invernadero, pueden desarrollarse muchos problemas. La elevada fertilidad y los regímenes de elevada humedad utilizados para promover un rápido crecimiento de la plántula, favorecen el desarrollo de organismos patógenos como es la “chupadera” ("damping-off"), pero pueden no favorecer el crecimiento de muchos hongos micorrízicos benéficos.

Carencia de estructura del suelo. La textura (tamaño de las partículas) y estructura (agregaciones de partículas), son dos propiedades físicas básicas del suelo que crean la porosidad. Aunque un medio de crecimiento determinado tiene textura, basada en el tamaño de varias partículas componentes, el concepto de estructura de suelo puede no ser aplicable a los sustratos artificiales, debido a que las partículas individuales de varios componentes pueden no formar agregados. Un programa de cultivo regular y los productos orgánicos correctores que los agricultores usan para mantener una estructura favorable en los suelos del campo, son obviamente imposibles en el cultivo en contenedores en vivero. Por tanto, las propiedades de textura de los componentes del medio de crecimiento, deben ser cuidadosamente seleccionadas y mezcladas para producir la mezcla correcta de porosidad, que pueda persistir a través del ciclo de cultivo.

2.2.1.3 Historia de los medios de crecimiento artificiales

A causa de los problemas con el suelo natural en los contenedores, los productores comenzaron a complementar al suelo con otros materiales para desarrollar una mezcla que pudiera ser adecuada para el cultivo en contenedor. La primera búsqueda sistemática para encontrar un medio de crecimiento uniforme y estandarizado, comenzó en Inglaterra en los años treinta, cuando el Instituto Hortícola John Innes desarrolló una composta basada en tierra de cultivo, complementada con

turba de musgo, arena y fertilizantes (Bunt, 1988). Al comienzo de los años cincuenta, fueron creados los primeros medios de crecimiento verdaderamente artificiales, en la Universidad de California; éstos constaban de varias proporciones de arena fina y turba de musgo, así como fertilizantes suplementarios (Matkin y Chandler, 1957). Las Mezclas Turba-Lite Cornell, predecesoras de los modernos medios de crecimiento, fueron desarrolladas en los años sesenta, en la Universidad de Cornell, usando varias combinaciones de turba de musgo, vermiculita y perlita (Mastalerz, 1977).

2.2.2 Funciones de un Medio de Crecimiento

Las plantas que están siendo cultivadas en contenedores, tienen ciertos requerimientos funcionales que pueden ser provistos por el medio de crecimiento (Mastalerz, 1977).

2.2.2.1 Agua

Las plantas requieren un continuo y gran aprovisionamiento de agua para el crecimiento y otros procesos fisiológicos, como es el enfriamiento a través de la transpiración, y esta agua debe ser provista por el sustrato. El agua líquida es retenida tanto externa como internamente por el medio de crecimiento hasta que es requerida por la planta: externamente, en los poros relativamente pequeños entre las partículas, e internamente, en el espacio interior de materiales porosos como la turba de musgo. Debido al volumen limitado de los contenedores pequeños, el medio de crecimiento debe poseer una elevada capacidad para almacenar agua, para proveerla a las plantas entre un riego y el siguiente.

2.2.2.2 Aire

Las raíces de las plantas consisten de tejidos vivientes y gastan energía para el crecimiento y otros procesos fisiológicos, como la absorción de nutrientes minerales de la solución del medio. La energía para estos procesos fisiológicos es generada por la respiración aeróbica que requiere una cantidad establecida de oxígeno. El subproducto de esta respiración es el bióxido de carbono, que puede ser acumulado hasta niveles tóxicos si no es dispersado en la atmósfera. Por ello, el sustrato debe ser lo suficientemente poroso para facilitar un eficiente intercambio de oxígeno y bióxido de carbono. A causa de que el oxígeno se difunde a través del agua a solamente 1/10,000 de la velocidad a la que lo hace en el aire, este intercambio gaseoso debe tener lugar en los grandes poros llenos de aire del medio de crecimiento. Estos grandes poros están directamente relacionados con el tamaño de las partículas, su arreglo, y la compactación del medio de crecimiento.

2.2.2.3 Nutrientes minerales

Con excepción del carbono, hidrógeno y oxígeno, las plantas deben obtener todos los 13 nutrientes minerales esenciales de la solución del medio de crecimiento. Muchos nutrientes minerales, incluyendo la forma amoniacal del nitrógeno (NH_4^+), el potasio (K^+), el magnesio (Mg^{2+}) y el calcio (Ca^{2+}), existen en la solución del medio de crecimiento como cationes eléctricamente cargados. Estos nutrientes iones se mantienen en la solución del medio hasta que las raíces de las plantas los toman y utilizan para el crecimiento y mantenimiento de los tejidos o, a causa de su carga eléctrica positiva, comienzan a ser adsorbidos por los sitios cargados negativamente en ciertos tipos de partículas del sustrato. Esta oferta de nutrientes adsorbidos, que es medida por la **capacidad de intercambio catiónico** (CIC), proporciona un reservorio de nutrientes minerales para mantener el crecimiento de la planta, entre aplicaciones de fertilizante.

2.2.2.4 Soporte físico

La última función del medio de crecimiento es anclar a la planta en el contenedor y mantenerla en una posición vertical. Este soporte es una función de la densidad (peso relativo) y de la rigidez del sustrato. El peso es importante en el caso de los contenedores grandes e individuales (Maronek *et al*., 1986), pero es intrascendente para los de volumen pequeño, en contenedores agregados, que son típicamente usados en viveros forestales. La rigidez de un medio de crecimiento está en función de la compresionabilidad y de la compactación de las partículas del medio de crecimiento, así como del tamaño del contenedor.

2.2.3 Características de un Medio de Crecimiento Ideal

No hay un único medio de crecimiento que pueda ser usado para todos los propósitos, pero Hartman y Kester (1983), James (1987) y Swanson (1989), proporcionan listas de sus propiedades hortícolas generales. Para el caso de viveros forestales que producen en contenedor, un medio de crecimiento bien formulado ha de poseer muchas de las siguientes propiedades, que pueden ser separadas en características culturales (aquellas que influencian el crecimiento de la planta) y, características operativas (aquellas que afectan las operaciones del vivero).

2.2.3.1 Características relacionadas con el crecimiento de la planta

Las características culturales de un medio de crecimiento, son las propiedades que afectan su capacidad para producir consistentemente cultivos de plantas saludables, bajo las prácticas de cultivo en un vivero forestal que produce en contenedor: pH ligeramente ácido, elevada capacidad de intercambio catiónico, baja fertilidad inherente, porosidad adecuada y una condición libre de plagas y enfermedades.

pH ligeramente ácido. El pH es la medida de la acidez o alcalinidad relativa de una sustancia, con base en una escala logarítmica de 0 a 14; los valores menores a 7.0 son ácidos y los valores superiores a 7.0 son alcalinos. Los materiales utilizados para formular medios de crecimiento difieren considerablemente en pH. Las turbas de musgo son por lo común naturalmente ácidas, dependiendo de la planta constituyente y de la calidad local del agua, mientras que la vermiculita puede tener un pH desde neutral (7.0), hasta medianamente alcalino (Bunt, 1988). Los intervalos de pH para los componentes de los principales 4 medios de crecimiento que se usan en viveros forestales, están listados en el cuadro 2.2.1. El pH final de un sustrato dependerá de la proporción de los ingredientes, su pH original, así como de las prácticas de cultivo posteriores, especialmente fertilización y riego. El agua de riego está generalmente cercana a la neutralidad, o es ligeramente alcalina, así que un medio de crecimiento normalmente ácido puede incrementar típicamente de 0.5 a 1.0 unidades de pH (esto es, hacerse más alcalino), durante la etapa de crecimiento (Gladon, 1988).

El principal efecto del pH en los suelos minerales, radica en su influencia en la disponibilidad de nutrientes minerales, especialmente micronutrientes; varios nutrientes minerales pueden hacerse no disponibles o incluso tóxicos con valores extremos de pH. La comparación del efecto del pH en la disponibilidad de nutrientes minerales en suelos minerales y orgánicos (como son muchos medios de crecimiento), muestra que el máximo de disponibilidad para suelos orgánicos está una unidad entera por debajo (pH 5.5) de los suelos minerales (pH 6.5) (fig. 2.2.1). El control del pH es menos crítico en los viveros que utilizan contenedores, donde todos los nutrientes esenciales pueden ser proporcionados a través de la fertilización. Muchas plantas pueden crecer dentro de un intervalo de valores de pH relativamente amplio si los micronutrientes son provistos en la forma y proporción adecuadas (Bunt, 1988).

El pH también puede afectar el número y tipo de microorganismos del medio de crecimiento, incluyendo a los hongos fitopatógenos. Los hongos del género ***Fusarium*** son más virulentos en condiciones neutrales o de alcalinidad, y las pérdidas por la “chupadera” se incrementan con valores de pH superiores a 5.9 (Handreck y Black, 1984). Sin embargo, mucha de esta información se refiere a suelos naturales, y poco se sabe acerca del efecto del pH en la actividad fitopatógena en sustratos artificiales. Un estudio reciente sobre enfermedades de la raíz en plántulas de ***Pseudotsuga menziesii*** (Douglas fir) cultivadas en contenedores, reveló que las pérdidas por afectación de hongos fueron más severas con pH de 4.0 (94%), que con un pH de 5.0 (10%), o con un pH de 6.0 (4%) (Husted, 1988).

Por tanto, sobre una base operativa, los viveristas forestales que producen en contenedor, deben tratar de mantener el pH de sus medios de crecimiento dentro del intervalo de 5.5, ligeramente ácido, a 6.5. (Ver capítulo 1 en el volumen cuatro de este manual para una discusión más detallada).

Cuadro 2.2.1 Características de varios componentes de medios de crecimiento

Componente del sustrato	Densidad en volumen seco (kg/m^3)	Intervalo de pH	Nutrientes minerales	Esterilidad	Capacidad de intercambio catiónico	
					Peso (meq/100g)	Volumen (meq/100m^3)
Turba de ***Sphagnum***	96.1-128.2	3.5-4.0	Mínima	Variable*	180.0	16.6
Vermiculita	64.1-120.2	6.0-7.6	K-Ca-Mg	Sí	82.0	11.4
Perlita	72.1-112.1	6.0-8.0	Ninguno	Sí	3.5	0.6
Corteza de pino	128.2-448.6	3.3-6.0	Mínima	Variable*	52.6	15.3

*Algunas fuentes de turba han resultado favorables para hongos fitopatógenos, mientras otros tipos de turba del género ***Sphagnum*** y composta de corteza han demostrado contener organismos benéficos que pueden suprimir enfermedades eficientemente.
Fuente: adaptado de Biamonte (1982).

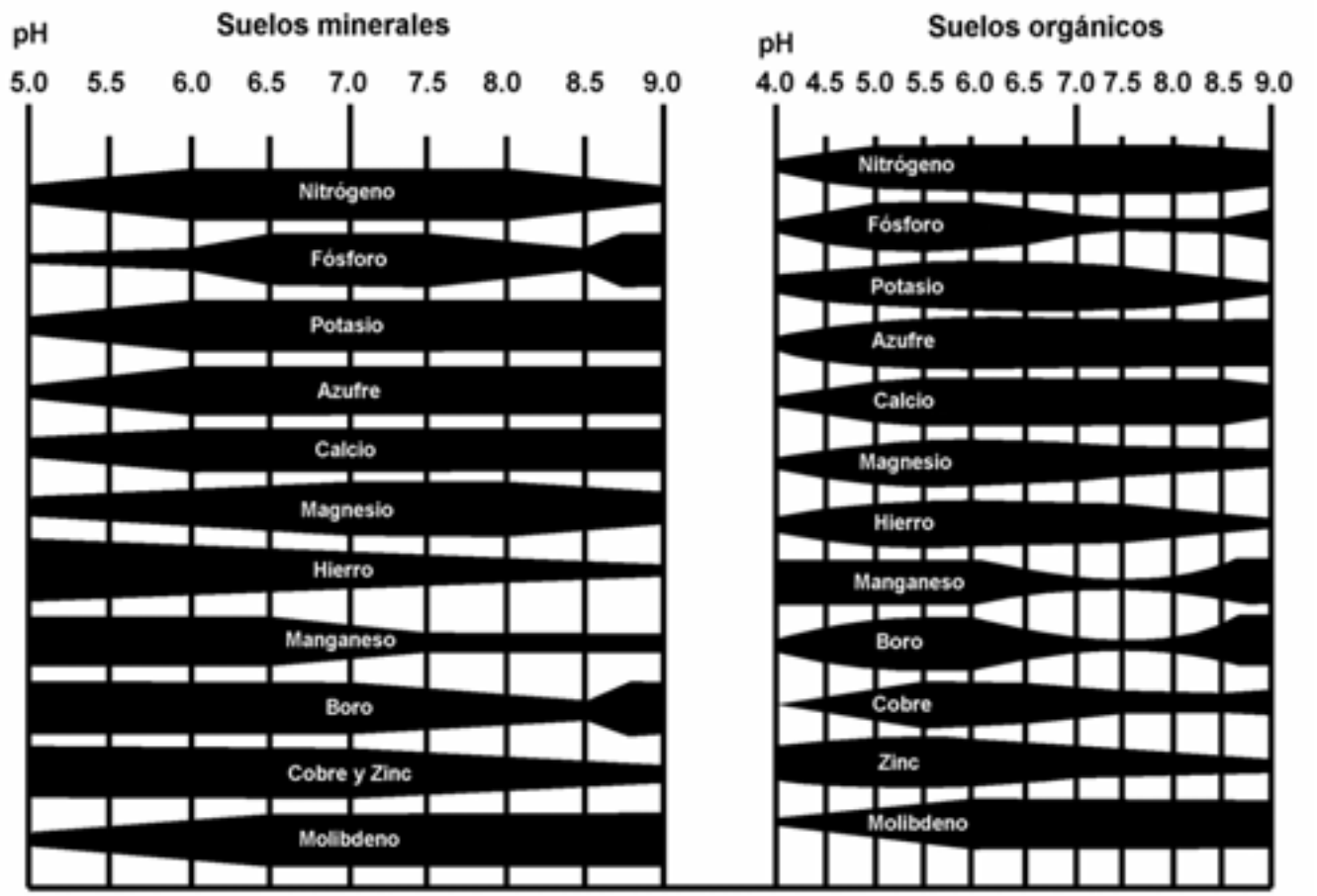


Figura 2.2.1 La disponibilidad relativa (tanto más gruesa la banda, más disponible el nutriente) de los varios nutrientes minerales, es distinta para suelos con base mineral, y para suelos con base orgánica. La máxima disponibilidad de nutrientes para suelos minerales se da con pH de 6.5, comparado con pH 5.5 para suelos orgánicos (Kuhns, 1985).

Alta capacidad de intercambio catiónico. La capacidad de un material para adsorber iones cargados positivamente, la **capacidad de intercambio catiónico** (CIC), es uno de los factores más importantes que afectan la fertilidad del medio de crecimiento. La CIC puede ser definida como la suma de los cationes intercambiables, medidos en unidades llamadas **miliequivalentes** (meq), que un material puede adsorber por unidad de peso o volumen (tanto mayor el número, mayor la capacidad para retener nutrientes). Los cationes primarios involucrados en la nutrición de la planta son: calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^{+}) y amonio (NH_4^{+}), enlistados en orden de retención decreciente en los sitios CIC (Bunt, 1988). Muchos iones micronutrientes son también adsorbidos, incluyendo el hierro (Fe^{2+} y Fe^{3+}), manganeso (Mn^{2+}), Zinc (Zn^{2+}) y cobre (Cu^{2+}). Estos nutrientes están almacenados en los sitios de CIC, en las partículas del medio de crecimiento, hasta que son tomados por el sistema radical (fig. 2.2.2).

La CIC ha sido medida tradicionalmente con base en el peso, para suelos naturales, pero la CIC por volumen es más significativa para el caso de sustratos artificiales, a causa de la relativamente baja densidad de muchos medios, y de los pequeños volúmenes de los contenedores. En realidad, las plantas crecen en volumen más que en peso del medio de crecimiento, y el volumen es actualmente la base generalmente aceptada, para la medición de la CIC con propósitos hortícolas (Bunt, 1988). Los valores de la CIC de algunos componentes típicos de medios de crecimiento es comparada en el cuadro 2.2.1. La vermiculita y la turba de musgo tienen los mayores valores de CIC, mientras que materiales inorgánicos como la perlita y la arena, tienen valores de CIC muy bajos. En una lista de valores de CIC para algunos de los medios de crecimiento estándares (cuadro 2.2.2) (Bunt, 1988), el medio turba-vermiculita tiene la mayor CIC por un margen considerable.

Los valores elevados de CIC son deseables para los medios de crecimiento, puesto que mantienen una reserva de fertilidad que abastece al crecimiento de la planta entre aplicaciones de fertilizantes. La CIC también puede retener cationes en el sustrato, previniendo su lixiviación, la cual puede ser muy significativa, dadas las intensas tasas de riego usadas en muchos viveros forestales que producen en contenedor. Ciertos componentes de los medios de crecimiento son mejores para resistir la lixiviación que otros, y hablando en términos generales, tanto mayor la CIC de un medio, mayor será su resistencia a la lixiviación. Comparando la cantidad de nutrientes minerales recuperados, de dos tipos diferentes de medios de crecimiento en el mismo volumen de agua lixiviada, se muestra que el medio turba-vermiculita retiene más cationes nutrientes, que el medio turba-arena (fig. 2.2.3). Es interesante notar que el nitrógeno en forma de nitrato (NO_3^{-}) fue fuertemente lixiviado de ambos tipos de sustrato porque es un anión cargado negativamente, el cual es repelido por los sitios de intercambio catiónico cargados negativamente. Algunos materiales tienen la capacidad de retener una pequeña cantidad de aniones (una **capacidad de intercambio aniónico**). No obstante, aún no está claro si esto funciona para iones como el fosfato (PO_4^{-}). Black (1988) refiere que una cantidad considerablemente mayor de P soluble fue lixiviado de un medio de turba-vermiculita (1:1), en comparación con un suelo mineral. Aunque Bunt (1988) establece que el PO_4^{-} es lixiviado de muchos tipos de sustratos, demostró que aparentemente la vermiculita tiene una capacidad limitada para adsorber iones PO_4^{-} (fig. 2.2.3).

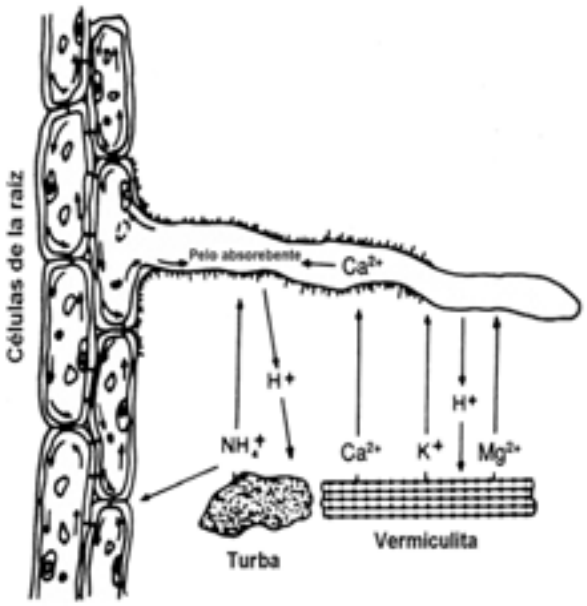


Figura 2.2.2 La capacidad de intercambio catiónico de las partículas del medio de crecimiento, provee una reserva fértil que suministra nutrientes minerales al sistema radical de la planta entre aplicaciones de fertilizante (adaptado de Davidson y Mecklenberg, 1981).

Cuadro 2.2.2 Capacidad de intercambio catiónico para algunos sustratos estándares.

Composición del medio de crecimiento	Capacidad de intercambio catiónico	
	Peso (meq/100 g)	Volumen (meq/100 cm^3)
Turba de musgo-vermiculita (1:1)	141	32
Turba de musgo-arena (1:1)	8	5
Turba de musgo-perlita (1:3)	11	1
Corteza de pino-perlita (2:1)	24	5

Fuente: Adaptado de Bunt (1988).

Un medio de crecimiento con una elevada CIC posee otras propiedades deseables que son de interés para el viverista que produce en contenedor. A causa de que aquél es capaz de adsorber selectivamente y liberar cationes de la solución del medio de crecimiento, tal medio puede amortiguar el efecto que los cambios repentinos en el pH o en la salinidad pueden tener, sobre el sistema radical de las plantas (Whitcomb, 1988).

Baja fertilidad inherente. Esta característica puede parecer incongruente a primera vista, pero un nivel inicialmente bajo de fertilidad, es considerado un atributo deseable para los medios de crecimiento empleados en viveros que producen en contenedor (Mastalerz, 1977; James, 1987). Manteniendo altos niveles de nutrientes minerales, especialmente nitrógeno, durante la germinación y la emergencia de las plántulas, no es recomendable porque aumenta la posibilidad de promover hongos del tipo "damping-off". Además, las plántulas de muchas especies forestales pueden no requerir fertilización alguna durante las primeras semanas de crecimiento (excepto quizá fósforo, el cual es proporcionado en mejor manera a través de un sistema de inyección de nutrientes). Carlson (1983) reportó que unas plántulas recientemente germinadas, tomaron pocos nutrientes minerales hasta las 2 semanas después de la germinación, y Barnett y Brissette (1986) hallaron que el megagametofito (endospermo) de la semilla, provee amplias cantidades de fósforo y otros minerales esenciales para el crecimiento de plántulas recientemente germinadas.

El principal beneficio de una baja fertilidad inherente, es que el viverista puede controlar completamente las concentraciones de nutrientes minerales en la solución del medio de crecimiento, a través de la fertilización. En un sustrato inherentemente fértil, o en un medio corregido a través de la incorporación de fertilizantes, es imposible controlar completamente la nutrición de la planta durante la etapa de crecimiento. Los medios de crecimiento que contienen fertilizantes de lenta liberación, no deben ser almacenados más allá de unos pocos días, pues las sales del fertilizante pueden aumentar y dañar a las semillas en germinación y a las plántulas recientemente germinadas (Handreck y Black, 1984). Muchos viveros forestales norteamericanos que producen en contenedor, están equipados con sistemas para la inyección de fertilizantes, que facilitan la fertilización acostumbrada en cualquier época. Aunque muchos tipos de sustratos comerciales contienen una dosis inicial de fertilizante, su uso no debe ser recomendado. Una baja fertilidad inicial facilita fertilizar en cualquier momento durante la rotación y controlar el crecimiento y fenología de la planta. La capacidad para lixiviar completamente los nutrientes fuera del medio de crecimiento, y para cambiar las proporciones de nutrientes antes del período de endurecimiento, frecuentemente es usada para iniciar yemas y dureza ante el frío (ver capítulo 1, volumen cuatro de este manual).

Muchos de los componentes de los sustratos utilizados en los viveros que producen en contenedor, son inherentemente infértiles (cuadro 2.2.1), aunque hay algunas excepciones. Mastalerz (1977), refiere que la vermiculita contiene "grandes cantidades" de potasio y magnesio, que están disponibles para el crecimiento de la planta, aunque pruebas practicadas a medios de turba-vermiculita, revelaron la presencia de sólo pequeñas cantidades de estos nutrientes (cuadro 2.2.3). La turba de musgo contiene entre 1 a 2.5% de nitrógeno, el cual está en una forma orgánica, y por tanto no inmediatamente disponible para su aprovechamiento por las plantas (Bunt, 1988). Sin embargo, la calidad de la turba de musgo es un factor importante, ya que tanto más descompuesto esté, como en el caso de la turba de humus, puede contener el nitrógeno suficiente para representar un problema en el cultivo de la planta (ver sección 2.2.4.4).

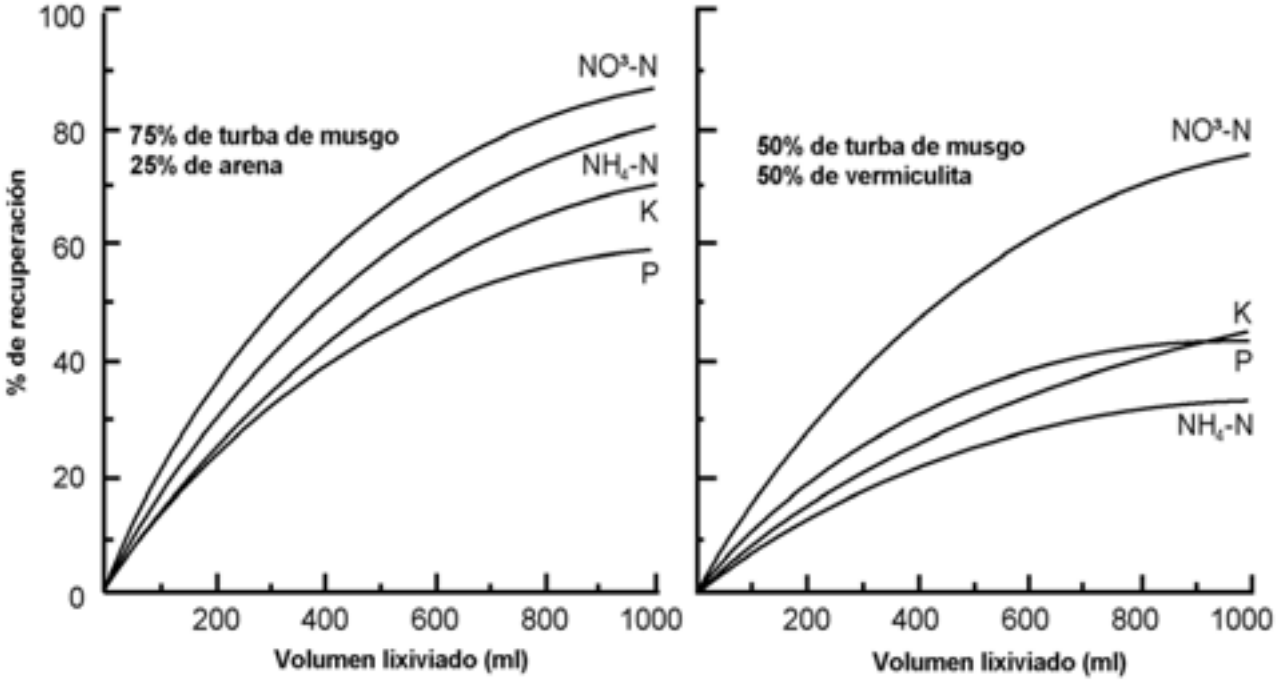


Figura 2.2.3 La substitución con vermiculita (**derecha**) en lugar de arena en un medio de crecimiento de turba de musgo-arena (**izquierda**), incrementa marcadamente la capacidad de intercambio catiónico, y por tanto, reduce la cantidad de nutrientes minerales perdida por lixiviación; esto es, decrece el porcentaje de nutrientes recuperados en el lixiviado (adaptada de Bunt, 1988).

Scarratt (1986), analizó una variedad de nutrientes minerales y otras propiedades químicas en un sustrato estándar de turba-vermiculita, y encontró niveles muy pobres de todos los nutrientes. Muchos micronutrientes estuvieron presentes en concentraciones muy bajas, y el cobre (Cu) estuvo ausente (cuadro 2.2.3). Los medios de crecimiento comerciales varían en sus niveles de fertilidad inicial, ya que muchos medios contienen cantidades suplementarias de fertilizante. Sanderson (1983), revisó la fertilidad de 23 marcas distintas y halló que los niveles de nitrato variaron entre 3 y 154 ppm, los del fósforo entre 1 y 112 ppm, los del potasio entre 8 y 244 ppm, y los del calcio entre 100 y 3,160 ppm. Handreck y Black (1984) notaron que los componentes del medio de crecimiento pueden contener niveles variables de fertilidad, haciendo difícil lograr uniformidad entre grupos. Estos datos indican que los viveristas deben percatarse de los niveles de fertilidad de sus sustratos, y que deben analizar en forma rutinaria los niveles de nutrientes de sus medios de crecimiento (ver capítulo 1, volumen cuatro de este manual).

Cuadro 2.2.3 Análisis de nutrientes en un sustrato estándar de turba-vermiculita (2:1).

Nutriente	Símbolo	Unidades	Valor
Niveles de minerales			
Nitrógeno amoniacal	NH_4-N	ppm	1.56
Nitrógeno nítrico	NO_3-N	ppm	0.00
Fósforo	P	ppm	1.30
Potasio	K	ppm	5.19
Calcio	Ca	ppm	1.83
Magnesio	Mg	ppm	1.19
Hierro	Fe	ppm	0.143
Manganeso	Mn	ppm	0.046
Cobre	Cu	ppm	0.000
Zinc	Zn	ppm	0.002
Boro	B	ppm	0.031
Molibdeno	Mo	ppm	0.010
Otros índices nutricionales			
pH	--	--	4.06
Conductividad eléctrica	CE	µS/cm	1.00

Fuente: Scarratt (1986).

Ciertos componentes de los medios de crecimiento pueden tener un efecto negativo sobre la fertilidad, y competir con la planta por nutrientes. Los materiales orgánicos no composteados, como el aserrín o la corteza, pueden limitar una proporción significativa de nitrógeno, porque los microorganismos que descomponen tales materiales orgánicos requieren de elevados niveles de éste nutriente. Algunos tipos de corteza de pino pueden remover hierro de la solución del medio de crecimiento, y la vermiculita puede limitar tanto el hierro como el fósforo (Handreck y Black, 1984).

Apropiado balance del tamaño de los poros. Probablemente no existe otra propiedad física de los sustratos que haya sido tan minuciosamente discutida e investigada como la porosidad. Pero tal atención es bien merecida, ya que el espacio poroso relativo de un medio de crecimiento afecta todo aspecto del cultivo de la planta en contenedor. Una estructura de poros apropiadamente balanceada, representa un adecuado intercambio de gases para el sistema radical, lo cual afecta directamente todas las funciones de la raíz, como la absorción de nutrientes minerales y de agua. Milks *et al*. (1989) establecieron que el cultivo de plantas en contenedores pequeños frecuentemente implica problemas de crecimiento, debido a la pobre aireación o baja capacidad de almacenamiento de agua del sustrato. La porosidad para la aireación es considerada la propiedad física más importante de cualquier medio de crecimiento (Johnson, 1968; Bragg y Chambers, 1988).

Un sustrato está compuesto de partículas sólidas y de espacios porosos que existen entre ellas; estos espacios porosos son tan importantes como las mismas partículas, desde el punto de vista hortícola. La cantidad de espacio poroso se expresa en términos de porcentaje de porosidad, y es una función del tamaño, forma, y arreglo espacial de las partículas individuales del medio de crecimiento en el contenedor (fig. 2.2.4).

La porosidad puede ser dividida funcionalmente en tres partes: porosidad total, porosidad de aireación, y porosidad de retención de humedad (Bethke, 1986; Handreck y Black, 1984):

Porosidad total. La porosidad total es una medida del total de espacios porosos de un sustrato, expresada como el porcentaje del volumen que no está ocupado por partículas sólidas. Por ejemplo: 1,000 ml de medio de crecimiento con una porosidad total de 40%, tienen 400 ml de poros y 600 ml de partículas sólidas (fig. 2.2.4).

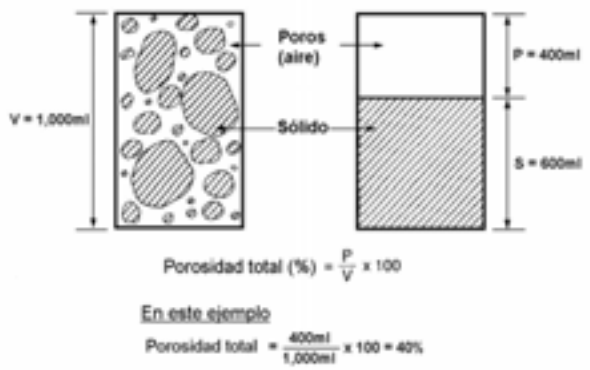


Figura 2.2.4 Un volumen dado de sustrato deshidratado está compuesto por partículas sólidas y por espacios (poros) que las rodean. La porosidad total es la proporción del volumen total del sustrato que no es materia sólida (adaptado de Handreck y Black, 1984).

Porosidad de aireación. La porosidad de aireación es la medida de la parte del total de espacios porosos que están ocupados con aire luego de que el medio de crecimiento es saturado con agua y se facilita su libre drenaje. Los poros que contienen aire, son relativamente grandes y son denominados **macroporos** (fig. 2.2.5).

Porosidad de retención de humedad. La porosidad de retención de humedad es la medida de la parte del total de espacio poroso que se mantiene llena de agua, luego de que el medio de crecimiento es saturado con agua y se facilita el libre drenaje de ésta. Los poros que contienen agua son relativamente pequeños y son denominados **microporos** (fig. 2.2.5).

Las características de porosidad de un sustrato (la proporción relativa entre porosidad de aireación y porosidad de retención de humedad), dependen de los tipos y tamaños de los componentes del medio de crecimiento. Bugbee y Frink (1986) hicieron variar el tamaño de las partículas de turba de musgo y vermiculita, para producir sustratos con porosidades de aireación de 1.0 a 33.6% del volumen. La porosidad total se mantuvo constante al aumentar la porosidad de aireación, pero la porosidad de retención de humedad disminuyó linealmente.

La porosidad puede ser medida en varias formas: la porosidad de aireación puede ser medida tanto por métodos volumétricos como por métodos gravimétricos (Bragg y Chambers, 1988). Un procedimiento relativamente simple para estimar la porosidad total, la porosidad de aireación y la porosidad de retención de humedad, se describe en el cuado 2.2.4.

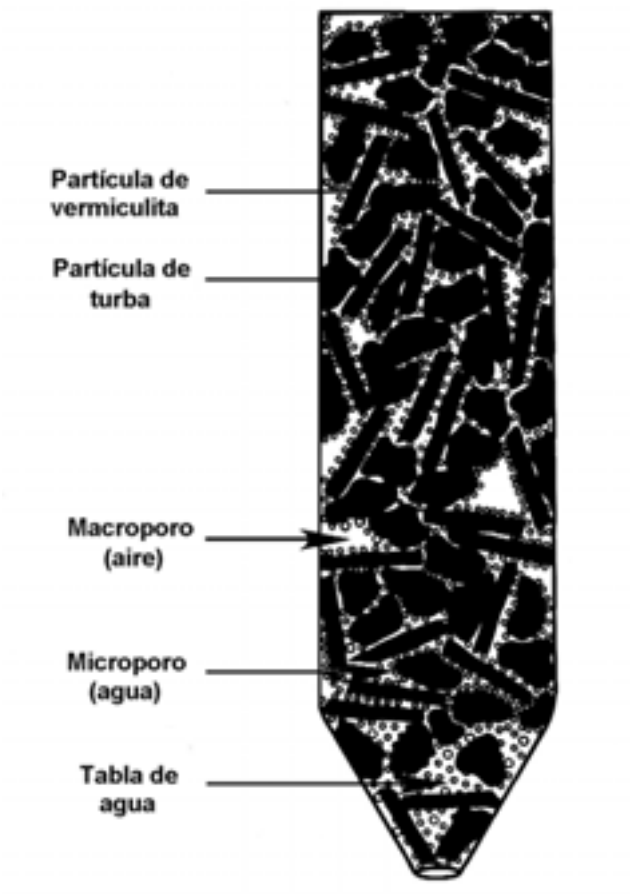


Figura 2.2.5 La porosidad total de un medio de crecimiento consiste de macroporos relativamente grandes, los cuales integrados constituyen la porosidad de aireación, y de microporos relativamente pequeños, que constituyen la porosidad de retención de humedad. Todos los contenedores pueden producir una tabla de agua, la cual crea una zona con sustrato saturado al fondo del contenedor.

Las recomendaciones en relación a la cantidad total y tipo de espacios porosos en los medios de crecimiento para contenedores, varían considerablemente. Handreck y Black (1984) reportan que un sustrato bien formulado contiene alrededor de 60-80% de porosidad total. Havis y Hamilton (1976) establecen que la porosidad total de un sustrato debe exceder el 50%, y que la porosidad de aireación debería ser de 20 a 25%; Whitcomb (1988) recomienda una elevada porosidad de aireación, de aproximadamente 25 a 35%, para especies forestales producidas en contenedor. Puustjarvi y Robertson (1975) recomiendan un valor aún mayor de porosidad de aireación, con 45 a 50% debido a la gran demanda de oxígeno de las raíces en los ambientes de los invernaderos. Tan amplia variación en las recomendaciones de porosidad, también refleja las características físicas de los diferentes tipos de medios de crecimiento, así como las diferentes formas en que la porosidad puede ser medida. Un medio de crecimiento bien formulado, puede contener una mezcla de macroporos, para aireación y drenaje, y de microporos, para la retención de humedad (fig. 2.2.5). Sin embargo, la proporción de macroporos con relación a los microporos, varía considerablemente entre diferentes mezclas de sustratos, y las características de porosidad de un medio cualquiera, no pueden ser predichas a partir de la porosidad de sus componentes individuales. Beardsell *et al*. (1979) encontraron que, aunque la porosidad total puede ser predicha a partir de la densidad en volumen para ciertos tipos de medios de crecimiento, las porosidades de aireación y de retención de humedad no pueden ser predichas.

Factores que afectan la porosidad. La porosidad de un medio de crecimiento puede variar con las características de sus componentes, el grado de compactación del medio dentro del contenedor, y la altura del contenedor. En efecto, la altura del contenedor es el principal factor que controla la porosidad de aireación del medio de crecimiento en un contenedor (Milks *et al*., 1989). Existen cuatro factores que afectan las características de la porosidad en contenedores: tamaño de las partículas individuales, características de las partículas, mezcla de tamaños de las partículas, y cambios en la porosidad a través del tiempo.

Tamaño de las partículas individuales. En los viveros que producen a raíz desnuda, la estructura del suelo es una de las propiedades más importantes que afectan la porosidad del suelo, pero en los viveros que producen en contenedor, la porosidad es determinada principalmente por el intervalo de tamaños de las partículas presentes en el sustrato (Handreck y Black, 1984). Las partículas grandes no embonan tan bien entre sí como las partículas pequeñas, y por ello producen una mayor porosidad total. La porosidad de aireación y la porosidad de retención de humedad tienen una relación complementaria: conforme el tamaño de las partículas incrementa, la porosidad de retención de humedad disminuye y la porosidad de aireación aumenta (fig. 2.2.6).

El tamaño de partícula que genera la mezcla apropiada de porosidad, aparentemente varía con el tipo de material. Para la turba de musgo, es recomendable un tamaño de partícula de entre 0.8 mm (0.03 pulgadas) y 6.0 mm (0.24 pulgadas). Si las partículas de turba son menores de aproximadamente 0.8 mm (A en la fig. 2.2.6), los microporos predominarán, y el medio de crecimiento fácilmente podrá saturarse con agua.

Conforme aumenta el tamaño de la partícula, la proporción de macroporos con relación a los microporos aumenta, alrededor de 6.0 mm (B en la fig. 2.2.6), hasta que los macroporos predominan y el medio de crecimiento puede no retener suficiente humedad para el crecimiento de la planta (Puustjarvi y Robertson, 1975). Por otro lado, el tamaño ideal de partículas para la corteza de pino, es algo menor. Handreck y Black (1984), reportan que las partículas menores a 0.5 mm (0.02 pulgadas) tienen el efecto más significativo en la aireación y características de retención de humedad, del medio de crecimiento. Estos autores encontraron que la porosidad de aireación fue fuertemente disminuida por las partículas de corteza menores a 0.25 mm (0.01 pulgadas), mientras que el agua disponible se incrementó por partículas de entre 0.10 y 0.25 mm (0.004 a 0.010 pulgadas). El tamaño ideal para arena es: 60% de las partículas entre 0.25 y 1.00 mm (0.01 y 0.04 pulgadas), con no más de 3% de éstas menores de 0.1 mm (0.004 pulgadas), o mayores de 2 mm (0.08 pulgadas) (Swanson, 1989).

Características de las partículas. Las propiedades físicas y químicas de las partículas, también afectan la porosidad de un medio de crecimiento. Algunos componentes como la turba de musgo y la vermiculita, pueden ser comprimidos, mientras que otros, como la perlita y la corteza, mantienen su tamaño original aún bajo presión. La turba de musgo y especialmente la vermiculita, son frágiles y pueden ser quebradas fácilmente en partículas más pequeñas, durante el mezclado y durante el manejo. Si se agrega humedad a un medio de turba-vermiculita durante el mezclado, se puede mantener la integridad de las partículas (Milks *et al*., 1989). La textura irregular de la superficie de las partículas de perlita, genera espacios de macroporos (Moore, 1988). Algunos compuestos orgánicos, especialmente el aserrín y la corteza no composteados, encogen durante la descomposición.

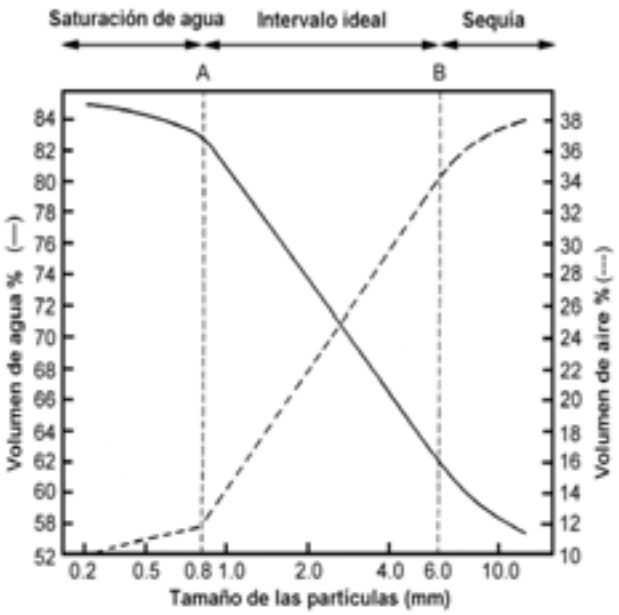


Figura 2.2.6 La porosidad es en parte función del tamaño de las partículas. Conforme aumenta el tamaño de las partículas, la proporción relativa de microporos disminuye y la proporción de macroporos se incrementa y *vice versa*. Este diagrama conceptual fue desarrollado para el sustrato puro de turba de musgo, por Puustjarvi y Robertson (1975); para otros componentes de medios de crecimiento, el concepto puede ser el mismo, aunque los valores numéricos pueden ser diferentes.

Cuadro 2.2.4 Determinando las características de porosidad del sustrato: porosidad total, porosidad de aireación y porosidad de retención de humedad.

Equipo

1. Contenedor con perforación de drenaje en el fondo.
2. Tapón o cinta impermeabilizante para sellar la perforación de drenaje.
3. Cilindro graduado o algún otro medio para medir el volumen líquido.
4. Batea impermeable más ancha que el fondo del contenedor.

Procedimiento

1. Selle la perforación de drenaje del contenedor y llénelo con agua. Mida el volumen de agua del contenedor y regístrelo como "volumen del contenedor."
2. Vacíe y seque el contenedor y llénelo con medio de crecimiento. Sature lentamente el medio de crecimiento vertiendo agua gradualmente sobre su superficie. Continúe agregando agua durante un período de varias horas, hasta que el medio de crecimiento esté totalmente saturado (la superficie se pone brillosa). Registre el volumen total de agua agregado como el "volumen total de poros."
3. Coloque el contenedor sobre la batea impermeable y remueva el sello de las perforaciones de drenaje. Permita que el agua se drene libremente fuera del contenedor (lo cual puede tomar varias horas). Mida la cantidad de esta agua drenada y regístrela como "volumen de poros de aireación."
4. Calcule la porosidad total, la porosidad de aireación y la porosidad de retención de humedad con base en las siguientes fórmulas:

$$\textit{Porosidad total}\ (\%) = \frac{\text{volumen total de poros}}{\text{volumen del contenedor}} \times 100$$

$$\textit{Porosidad de aireación}\ (\%) = \frac{\text{volumen de aireación}}{\text{volumen del contenedor}} \times 100$$

Porosidad de retención de humedad (%) = porosidad total - porosidad de aireación

Estándar

La porosidad de aireación debe ser aproximadamente de 25 a 35% para las especies forestales.

Fuente: adaptado de Gessert (1976) y Whitcomb (1988).

Las partículas de los componentes de muchos medios de crecimiento no son sólidas, y contienen espacios internos vacíos; esta **porosidad interna** es importante para las propiedades hortícolas de un sustrato. Algunos materiales densos, como las partículas de arena, esencialmente carecen de porosidad interna, mientras que otros materiales, como la turba de musgo, la vermiculita y la corteza de pino, poseen una sustancial porosidad interna. El espacio poroso interno de las partículas de corteza de pino fue determinado como superior al 43% de su volumen total (Pokorny, 1987). Además de afectar la densidad, esta porosidad interna puede influenciar las propiedades de retención de humedad y de retención de nutrientes de un medio de crecimiento. Aunque el almacenaje interno de agua es considerado por algunos investigadores como no disponible para la planta (Spomer, 1975), Pokorny (1987) demostró que la absorción de agua por la planta es aumentada por la penetración de las raíces en las partículas de corteza de pino. La estructura esponjosa de la turba de musgo del género ***Sphagnum***, y de las partículas de vermiculita, refleja una elevada porosidad interna, la cual es una de las razones de su popularidad como componentes de medios de crecimiento en viveros forestales que producen en contenedor. Otros materiales porosos como la perlita, poseen

poros sellados y por tanto no pueden absorber humedad. Por ejemplo, las partículas de perlita retienen consistentemente menos humedad, y por tanto proveen más aireación que las partículas de piedra pómez del mismo tamaño (Johnson, 1968). Debido a tales propiedades deseables, la perlita frecuentemente es agregada al sustrato para aumentar la porosidad de aireación.

Una comparación de las características de porosidad para algunos componentes de sustratos tradicionales (cuadro 2.2.5), ilustra aún más la variación entre los diferentes materiales. La turba de musgo tiene la mayor porosidad total y de retención de humedad, porque posee un gran espacio poroso interno; la corteza de oyamel tiene la menor porosidad de retención de humedad debido a que está suberizada, y por tanto es repelente al agua.

Mezcla de tamaños de partículas. Debido a que el medio de crecimiento usualmente es una mezcla de dos o más componentes, con una variedad de tamaños de partículas, el arreglo de las mismas y la relación de unas con otras afecta la porosidad. Siempre que son mezcladas partículas de diferentes tamaños, el volumen resultante es menor que la suma de los volúmenes originales, porque las partículas más pequeñas llenan los espacios existentes entre las grandes. Esto es especialmente significativo con aquellas que son angulares, como el caso de algunos tipos de arena, en las cuales con forma tendiente a piramidal se acomodan estrechamente.

Cambios en la porosidad a través del tiempo. La porosidad de un sustrato determinado también cambia a través del tiempo a causa de la descomposición de las partículas, la acumulación de partículas finas en el fondo del contenedor por el riego, la gravedad, y por el mismo crecimiento en el interior. Langerud (1986) concluyó que es necesario un medio físicamente estable, para que pueda mantenerse el balance crítico entre las capacidades de aireación y de retención de humedad. Beardsell *et al*. (1979) encontraron que las partículas finas de piedra pómez arregladas en el fondo de un contenedor, se acomodan llenando los espacios entre las partículas más grandes, originando así problemas de drenaje. Muchos viveristas fallan al apreciar la cantidad de espacios porosos que son ocupados por las raíces; en efecto, se espera que las plantas produzcan suficientes raíces para formar un cepellón relativamente firme al término de la etapa de cultivo. Al producirse las nuevas raíces, éstas penetran y se expanden, llenando los poros grandes que contenían aire en el sustrato, con lo que gradualmente se reduce la porosidad de aireación. Este problema es más serio en el caso de plantas grandes, las cuales son cultivadas durante más de una estación de crecimiento. Para contrarrestar este efecto, los viveristas deben emplear un medio de crecimiento granular, con buena aireación, que aunque requiere de mayor riego cuando la plántula es pequeña, puede proveer un intercambio de aire adecuado cuando las plantas maduran.

Cuadro 2.2.5 Comparación de densidades en volumen y porosidades en seco y en húmedo, para componentes estándares de los medios de crecimiento.

Componente	Densidad (kg/m^3)		Relaciones de porosidad (% de volumen)		
	Seco	Húmedo	Retención de humedad	Aireación	Total
Turba de musgo ***Sphagnum***	104.1	693.7	58.8	25.4	84.2
Turba de musgo ***Hypnum***	185.8	310.8	59.3	12.4	71.7
Vermiculita	108.9	640.8	53.0	27.5	80.5
Perlita	96.1	394.1	47.3	29.8	77.1
Corteza de oyamel	184.2	333.2	15.0	54.7	69.7
Arena	1,497.9	1,842.3	33.7	2.5	36.2

Fuente: modificado de Johnson (1968).

Libre de plagas y enfermedades. Uno de los problemas más serios con los medios de crecimiento basados en suelo natural, es que éste puede contener toda una variedad de plagas y enfermedades, como hongos fitopatógenos, insectos y nemátodos, además de semillas de malas hierbas. A causa de estos problemas, el suelo necesita ser esterilizado con productos químicos antes de que sea utilizado como medio de crecimiento. Con la aparición de los sustratos artificiales, el uso de la pasteurización se ha reducido sustancialmente, ya que muchos de los componentes comúnmente usados están considerados libres de plagas y enfermedades (James, 1987). La vermiculita y la perlita son esterilizadas durante su manufactura, pues son expuestas a temperaturas tan elevadas como 1,000 ^{o}C (1,832 ^{o}F). El nivel de asepsia de la turba de musgo está sujeto a debate (cuadro 2.2.1). Bluhm (1978) reporta que aunque algunos productos de turba de musgo son anunciados como "estériles" o "libres de plagas," se ha encontrado que la turba contiene hongos fitopatógenos, semillas de malas hierbas y nemátodos. Baker (1985) estableció que el musgo y otros hongos de la raíz fueron encontrados en marcas comerciales de turba provenientes de diferentes áreas geográficas, incluyendo a Canadá. Bunt (1988) concluye que la turba no es técnicamente estéril, pero ya que generalmente los organismos que contiene no son fitopatógenos, normalmente no es esterilizada antes de ser usada (ver capítulo 1, volumen cinco de este manual).

En estudios recientes se ha encontrado que algunos tipos de turba de musgo del género ***Sphagnum*** inhiben a ciertos hongos fitopatógenos, como es ***Pythium* spp**. Wolffhechel (1988) inoculó ***Pythium*** a muestras de turba de musgo de ***Sphagnum*** procedente de cinco localidades distintas, y encontró una variación considerable en cuanto a receptividad del fitopatógeno. A causa de que éste puede ser destruido por el calor de la pasteurización, o con un tratamiento con fungicida, la capacidad para suprimir a ***Pythium*** ha sido atribuida a la presencia de microorganismos benéficos (antagonistas). Los sustratos formulados con esta turba de musgo que suprime enfermedades, pueden inhibir el desarrollo de la “chupadera” y pudriciones de raíz producidas por ***Pythium***. Una casa comercial, Ball Seed Company, ofrece un sustrato basado en turba que es "supresivo en forma natural" de enfermedades ocasionadas por ***Pythium***.

2.2.3.2 Características que afectan las operaciones en vivero

En adición a las características del contenedor que afectan el crecimiento de la planta, los viveristas deben considerar las propiedades de los sustratos que se relacionan con los aspectos operativos del manejo de viveros forestales que producen en contenedor. Factores como costo y disponibilidad, uniformidad y repetibilidad, densidad, estabilidad dimensional, durabilidad y facilidad de almacenamiento, facilidad para realizar la mezcla y la carga, rehumectabilidad, y la facilidad para producir un firme cepellón con las raíces, también son importantes para la selección de un medio de crecimiento o de sus componentes individuales.

Costo razonable y disponibilidad. El costo es uno de los factores más significativos, aunque frecuentemente es sobreestimado en la elección de medios de crecimiento o de sus componentes. A causa de que el medio de crecimiento tiene un efecto tan importante en el crecimiento de la planta, los viveristas no deben hacer del costo el factor determinante cuando se selecciona un medio. Swanson (1989) ejemplifica bien el caso: el precio no debe ser la primera prioridad en la elección de un sustrato comercial o de sus componentes, a menos que aquél sea prohibitivo.

La disponibilidad tiene efecto sobre otros aspectos de manejo del sustrato, especialmente la uniformidad y el costo (Swanson, 1989). Muchos de los materiales utilizados para formular el medio de crecimiento son baratos pero voluminosos, y a veces pesados, lo que hace caro su transporte. Un material que es barato en una localidad puede resultar caro en otra, siendo la causa primaria de lo anterior los costos de embarque. Muchos componentes son producidos en áreas geográficas restringidas, y resultan difíciles de obtener o muy caros en otras áreas. La turba de musgo de ***Sphagnum*** es fácilmente accesible y relativamente barata en Canadá y en el norte de los Estados Unidos, pero es considerada no económica en muchas partes del mundo. Por otro lado, la arena es un componente del medio de crecimiento que se puede hallar por todo el mundo a un costo relativamente bajo. Los precios de los componentes de los medios también pueden variar; los materiales que inicialmente son baratos, como la corteza de pino, pueden encarecerse debido a la elevada demanda y a la competencia con otros usos (Whitcomb, 1988).

Alto grado de uniformidad y ser reproducibles. Tanto los componentes como el medio de crecimiento resultante, deben ser uniformes en calidad, y reproducibles de lote en lote. Algunos materiales, como la turba de musgo y la arena, pueden variar considerablemente entre localidades. Aunque el término **turba de musgo** es utilizado genéricamente, la calidad de este popular componente del medio de crecimiento varía con respecto al tipo de planta que compone la turba, y el clima bajo el cual la turba fue depositada. Mastalerz (1977) recomienda la estandarización del sustrato y de los componentes del medio, a efecto de asegurar que cada lote tenga las mismas propiedades físicas, químicas y biológicas. Un sustrato que varía en características físicas o químicas, puede originar serios problemas con el riego, fertilización y otras prácticas culturales (ver sección 2.2.5.1). Un buen medio de crecimiento debe ser reproducible para garantizar la uniformidad del cultivo y, para mantener la calendarización de la producción de éste (Whitcomb, 1988). La capacidad para reproducir consistentemente un medio de crecimiento, entre cultivo y cultivo, es uno de los factores culturales más importantes para el manejo exitoso de los viveros forestales que producen en contenedor.

Baja densidad. La densidad de un sustrato es definida como su peso por unidad de volumen, y usualmente es expresada en gramos por centímetro cúbico (g/cm^3), o kilogramos por metro cúbico (kg/m^3); las unidades inglesas son libras por pie cúbico. La densidad para un sustrato específico, está en función de tres factores:

- Las densidades de las partículas que componen el medio.
- Lo compresibles que sean las partículas.
- El arreglo de estas partículas entre sí.

Las densidades de las partículas de diferentes medios de crecimiento varían considerablemente, dependiendo de su composición química y estructura física. Aunque Handreck y Black (1984) estimaron que la densidad de las partículas minerales promedio es de aproximadamente 2.6 g/cm^3 (162.3 libras por pie cúbico), y que la de las partículas de materia orgánica es de 1.55 g/cm^3 (96.8 libras por pie cúbico), tales promedios son de limitada utilidad, pues su grado de compresión y el arreglo de las partículas también afectan los valores de densidad. Las partículas minerales pueden variar desde arena sólida hasta vermiculita altamente porosa, y las orgánicas desde corteza rígida hasta turba de musgo esponjosa.

La densidad de un sustrato, en un contenedor lleno, está también en función del arreglo interno de las partículas individuales. Aunque Beardsell *et al*. (1979) hallaron que la porosidad total puede ser estimada a partir de la densidad en algunos tipos de medios de crecimiento, las porosidades de aireación y de retención de humedad, frecuentemente están relacionadas con el qué tanto ha sido compactado el sustrato, durante el proceso de llenado (la compactación es discutida a detalle en la sección 2.2.7).

La densidad tradicionalmente es medida con base en el peso anhidro, pero la densidad en húmedo también es importante desde un punto de vista operativo. Algunos materiales, como la turba de musgo y la vermiculita, son capaces de absorber el equivalente a muchas veces su peso en agua. Nelson (1978) reporta que un sustrato hecho con vermiculita y perlita, tuvo una densidad de alrededor de 0.51 g/cm^3 (32 libras por pie cúbico) cuando estaba saturado, mientras que en seco, tuvo una densidad de sólo 0.10 g/cm^3 (6.5 libras por pie cúbico). Los viveristas interesados en mantener ligeros en peso sus sustratos, pueden considerar a la perlita como un componente, pues este material es relativamente hidrofóbico. Un medio de crecimiento hecho con una mezcla de turba de musgo y perlita puede, por tanto, tener un peso saturado mucho menor que el de una mezcla de turba de musgo y vermiculita (Whitcomb, 1988).

Las densidades tanto en seco como en húmedo para componentes de medios de crecimiento, son referidas en el cuadro 2.2.5. Algunos materiales, como la turba de musgo y la vermiculita, tienen densidades en húmedo mucho mayores que sus densidades en seco. Obviamente la arena tiene los valores más altos en razón de su mayor densidad de partículas; la poca diferencia entre los valores en seco y en húmedo refleja una baja capacidad de retención de humedad. En los viveros que producen especies ornamentales, la elevada densidad de la arena agrega estabilidad a los contenedores individuales en pie, para que las plantas, más pesadas en su parte superior, no se caigan; esta propiedad es intrascendente para los contenedores pequeños y agrupados, utilizados en muchos de los viveros forestales. La densidad en seco es importante operativamente para el embarque y manejo de los componentes de los sustratos secos, pero la densidad en húmedo afecta el manejo y embarque de las plantas en su contenedor, cuando el sustrato está saturado. Por lo tanto, con base en la facilidad de manejo, los componentes con una baja densidad pueden resultar ventajosos en los viveros forestales que producen en contenedor.

Estabilidad dimensional. Un sustrato no debe encoger o hincharse excesivamente durante su uso. Bilderback (1982), menciona tres tipos de cambios en volumen que pueden ocurrir.

1. Encogimiento debido a expansión y contracción. Los materiales como la turba de musgo pueden encoger durante períodos de humectación y secado alternos. Harlass (1984) reportó que si a algunos medios basados en turba se les facilita el secado excesivo, éstos pueden apartarse de la pared del contenedor, haciendo difícil una rehumectación uniforme.

2. Descomposición de materiales orgánicos. Los materiales orgánicos que no fueron composteados adecuadamente, pueden perder volumen conforme se descomponen (ver la sección siguiente sobre durabilidad y facilidad de almacenamiento).

3. Relación espacio-encogimiento en volumen. Las partículas pequeñas pueden llenar los espacios vacíos existentes entre partículas de mayor tamaño; tanto más grande la diferencia en el tamaño de las mismas, mayor el cambio en volumen. Whitcomb (1988) discute la pobre aireación resultante cuando las partículas finas de vermiculita fueron acarreadas al fondo del contenedor, mediante la percolación del agua de riego, llenando los espacios porosos y levantando el nivel de la tabla de agua. Ni la arena ni la piedra pómez, con partículas grandes, son recomendables, puesto que las partículas más pequeñas arriban por gravedad al fondo del contenedor al transcurrir el tiempo, reduciendo así la porosidad.

Durabilidad y facilidad de almacenamiento. Muchos de los componentes de los medios de crecimiento populares, son durables y no se descomponen ni cambian al pasar el tiempo. Los materiales orgánicos sin compostear pueden descomponerse considerablemente durante el ciclo de cultivo, y por tanto, no son recomendables como medios de crecimiento (Nelson, 1978). No obstante, los materiales orgánicos composteados, incluyendo el aserrín, las virutas de madera y la corteza, pueden ser usados. La corteza de pino no cambia su volumen en forma apreciable a causa de su lenta tasa de descomposición, pero aún así muchos viveristas prefieren la corteza vieja o composteada (Bilderback, 1982). La turba de musgo puede variar considerablemente en su grado de descomposición, que puede ser calificado sobre una escala de 1 a 10, usando el sistema von Post (Puustjarvi y Robertson, 1975).

Inicialmente, los materiales estériles que son ordenados en grandes cantidades, pueden ser contaminados con semillas de malas hierbas o con otros propágulos durante el almacenamiento. Por esta razón, los lotes de sustrato previamente mezclados, o los componentes de los medios, deben ser comprados en paquetes plásticos sellados, y almacenados fuera del alcance de la luz solar directa, la cual puede facilitar el rápido rompimiento de la cubierta plástica.

Facilidad de mezclado y de llenado de los contenedores. Este factor es particularmente importante para los viveristas que acostumbran mezclar sus propios lotes de sustrato. El mezclado uniforme puede ser difícil de alcanzar debido a diferencias en la densidad, tamaño de partículas y contenido de humedad de los diferentes componentes. Los componentes de los medios de crecimiento no deben formar agregados durante el almacenamiento, y deben fluir fácilmente durante las operaciones de mezclado y de llenado. La turba de musgo y la corteza de pino son embarcados relativamente secos, pero deben ser completamente humedecidos antes de ser mezclados; sin embargo, esto puede resultar difícil operativamente, pues estos materiales orgánicos frecuentemente son hidrofóbicos a bajos contendidos de humedad (ver sección 2.2.5.4 para mayor información sobre agentes de humedecimiento). El flujo es especialmente importante cuando se llenan los contenedores pequeños típicamente empleados en los viveros forestales. Estos contenedores tienen pequeños diámetros superiores que se tapan fácilmente, y que impiden que las partículas del medio sigan llenando uniformemente el contenedor.

Facilidad de rehumedecimiento. Algunos componentes, como la turba de musgo y la corteza, adquieren propiedades hidrofóbicas si se permite su secado excesivo, lo cual puede mermar las tasas de riego e infiltración. Este problema es particularmente serio durante el período de inducción de dormición, cuando los trabajadores restringen el riego para inducir tensión hídrica en la planta. Bunt (1988) establece que la dificultad en el rehumedecimiento de la turba se debe a una película de aire atrapada en la superficie de las partículas, así como a la presencia de humatos de hierro, los cuales repelen al agua. Las partículas de corteza también pueden ser difíciles de rehumedecer, y Pokorny (1979) establece que esta hidrofobicidad es causada tanto por factores físicos como químicos: muchas partículas de corteza están cubiertas por productos químicos orgánicos que dificultan la absorción de agua, y sus superficies rugosas crean una tensión superficial

que repele al agua físicamente. Bilderback (1982) recomienda utilizar humectantes si la corteza tiene un contenido de humedad inferior al 35%. Los surfactantes, también denominados agentes de humedecimiento, son agregados rutinariamente durante el procedimiento de mezclado, para incrementar el humedecimiento de los componentes del sustrato (ver sección 2.2.5.4 para más información sobre los humectantes).

Formación de un cepellón firme. Esta característica operativa es única para los viveros forestales, ya que las plantas que van a ser embarcadas son extraídas del contenedor antes de ser plantadas. Las plantas producidas en contenedores deben mantener un firme cepellón durante su extracción, carga, embarque y plantación. Un cepellón cohesivo y resiliente es especialmente importante cuando las plantas son plantadas con herramientas especiales, que hacen una cepa del mismo tamaño y forma que el contenedor. Tanto el sustrato como varias prácticas de cultivo deben ser diseñados para promover un adecuado desarrollo radical en todo el contenedor, para que al término de la etapa de cultivo esté desarrollado un firme cepellón (fig. 2.2.7A). Los sustratos que no llenen uniformemente el contenedor o que inhiban la aireación, pueden implicar la pobre formación de un sistema radical, que no podrá ser fácilmente extraído del contenedor, y que no pueda mantener la integridad del cepellón durante la carga y el embarque (fig. 2.2.7B). Lackey y Alm (1982), evaluaron la calidad de los cepellones de plantas de coníferas producidas en bloques de poliestireno, en 6 tipos distintos de sustratos, y encontraron que dos marcas comerciales de medios de crecimiento produjeron cepellones con el mayor índice de calidad. Tinus (1974), evaluó la sobrevivencia y el crecimiento de plantas de ***Pinus ponderosa*** (ponderosa pine) con diferentes índices de "integridad del cepellón"; tanto la sobrevivencia como el crecimiento disminuyeron significativamente conforme más deteriorado estaba el cepellón (cuadro 2.2.6).

Cuadro 2.2.6 Efecto de la integridad del cepellón en la sobrevivencia y en el crecimiento de plantas de ***Pinus ponderosa*** (ponderosa pine) producidas en contenedor.

Integridad del cepellón (%)	Sobrevivencia al primer año (%)		Crecimiento al primer año (cm)
	1972	1973	1972
100	95 a	92 a	4.2 a
75	90 ab	72 b	3.7 b
50	85 b	78 b	3.0 c
25	87 b	40 c	3.0 c
0	79 c	15 e	2.6 c

Los valores sin letras en común en cada columna, tienen diferencias estadísticamente significativamente (P = 0.05). Fuente: adaptado de Tinus (1974).

A

B

Figura 2.2.7 El sistema radical de las especies forestales producidas en contenedor, debe producir un cepellón firme (A) para cuando sean extraídas del contenedor. Un medio de crecimiento pobremente formulado, puede crear condiciones desfavorables para el crecimiento de la raíz, y el sistema radical resultante puede no formar un cepellón (B).

2.2.4 Componentes Utilizados en la Formulación de Medios de Crecimiento para Especies Forestales

Aunque la turba pura es empleada en algunos viveros forestales que producen en contenedor, muchos sustratos modernos consisten de dos o más **componentes** diferentes que son elegidos para proporcionar ciertas propiedades físicas, químicas o biológicas. Los productos **correctores**, como los fertilizantes o los agentes de humedecimiento, algunas veces son agregados durante el proceso de mezclado. Por propósitos de claridad, un componente de medio de crecimiento, usualmente constituye un elevado porcentaje (>10%) de la mezcla, mientras que un producto corrector es definido como un material suplementario que contribuye con menos del 10% al sustrato (Gladon, 1988) (los productos correctores serán tratados en la sección 2.2.6).

La encuesta sobre contenedores, reveló que únicamente 5 materiales fueron los más usados como medios de crecimiento en los viveros forestales de los Estados Unidos y Canadá: turba de musgo, aserrín, arena, vermiculita y perlita.

Un sustrato típicamente utilizado actualmente en horticultura está compuesto por dos o tres componentes. Las mezclas de componentes orgánicos e inorgánicos son populares debido a que estos materiales poseen propiedades físicas y químicas opuestas, o aún complementarias. Beardsell *et al*. (1979) encontraron que algunas de las propiedades físicas de las mezclas de sustratos, como la capacidad de retención de humedad, pueden ser estimadas a partir de las características de sus componentes individuales.

2.2.4.1 Componentes orgánicos

Función del componente orgánico. Los materiales orgánicos son componentes deseables de los sustratos, pues generan una gran proporción de microporos, produciendo así una elevada capacidad de retención de humedad, además son lo suficientemente resilientes para resistir la compactación. La materia orgánica también tiene una elevada CIC, y por lo tanto, retiene iones nutrientes previniendo su lixiviación y, proporcionando un amortiguamiento contra los cambios rápidos en salinidad.

La cantidad de materiales orgánicos usados en los sustratos varía considerablemente, generalmente entre 25 a 50% (del volumen), pero a veces alcanza el 100% (Mastalerz, 1977). Joiner y Conover (1965), establecieron que la mejor proporción de materia orgánica es de 40 a 50%, y Harlass (1984) reportó que las mezclas que contienen más del 50% de materia orgánica, pueden tener menos espacio poroso.

Aunque muchos diferentes tipos de materia orgánica han sido empleados como parte de los sustratos, cuando se producen especies ornamentales en contenedor (Mastalerz, 1977; Bunt, 1988), la turba de musgo es la más comúnmente usada como materia orgánica en los viveros forestales. Otro material, el aserrín, fue reportado en la encuesta sobre contenedores en viveros, pero sólo en dos viveros.

Turba de musgo. Aunque las muestras de turba de musgo pueden parecer similares, éstas pueden tener propiedades físicas y químicas muy distintas. Las turbas son formadas cuando plantas parcialmente descompuestas se acumulan bajo el agua en áreas con bajas temperaturas, bajos niveles de oxígeno y nutrientes (Peck, 1984). Las turbas pueden estar compuestas de varias especies de plantas, incluyendo musgos, juncos y pastos. La especie de planta, su grado de descomposición, la variación entre climas locales y la calidad del agua, contribuyen a imprimir diferencias en la calidad de las turbas y determinan su valor como un componente del medio de crecimiento (Mastalerz, 1977).

Hay varios sistemas de clasificación de turba; para propósitos hortícolas, son importantes la especie de planta y el grado de descomposición. La Sociedad Americana para la Prueba de Materiales (American Society for Testing Material, ASTM), utiliza un sistema de clasificación de 5 clases, fundamentado en el tipo de planta que compone a la turba y el contenido de fibra orgánica (Bunt, 1988; Mastalerz, 1977; Hellum, 1975). El analizar las propiedades químicas y físicas de la turba de musgo consume tiempo y es demandante técnicamente, por tanto los viveristas generalmente se fían de la información dada por los proveedores. Un procedimiento analítico recientemente desarrollado, el espectroscopio infrarrojo, puede determinar la composición botánica, grado de humificación, capacidad de intercambio catiónico, contenido de nitrógeno y otras propiedades físicas y químicas, a partir de una muestra de turba (Lehtovaara *et al*., 1988). Algunas características físicas y químicas de los principales tipos de turba de musgo se muestran en el cuadro 2.2.7, y estos cuatro tipos pueden ser descritos como sigue.

1. Turba de musgo *Sphagnum*. Esta clasificación requiere un mínimo de 90% de materia orgánica como base de peso anhidro, con más de 75% del material compuesto de musgos del género ***Sphagnum***. Hay aproximadamente 335 especies de musgos de este género en el mundo (Puustjarvi, 1975); Hellum (1975), reporta que tan solo en Alberta (Canadá) hay 25 especies, y que ***S. fuscum*** es uno de los más deseables. Los tallos y hojas presentes en la turba de musgo ***Sphagnum*** son característicos, y la estructura fibrosa unicelular es típica (fig. 2.2.8). Las hojas del musgo ***Sphagnum*** contienen un gran número de poros que forman un sistema capilar interno, capaz de almacenar grandes cantidades de agua disponible; en efecto, Peck (1984) estimó que el 93% del agua almacenada en estos espacios porosos internos, está disponible para las plantas.

Además de sus características físicas, los tipos de turba de musgo pueden ser identificados a partir de su origen geográfico. El musgo ***Sphagnum*** solamente crece en climas fríos del norte. Hellum (1975), establece que los pantanos con ***Sphagnum*** útil se encuentran solamente en el bosque boreal, y que la turba de pantano del sur de Alberta, Canadá, contiene una baja proporción de musgo ***Sphagnum,*** a causa de la alcalinidad de suelo y agua en esa región. Mucha de la turba de musgo producida en los Estados Unidos contiene una baja proporción de musgos del género referido, con excepción de aquella procedente de los estados del norte, como Minnesota, Michigan, Maine y Washington (Lucas *et al*., 1965).

Existe una variación considerable en la calidad de la turba de musgo, aún dentro del tipo colectado de los pantanos con ***Sphagnum***; Carlson (1983), establece que la calidad de la turba de musgo varía no solamente entre pantanos distintos, también existe variación en sentido vertical, dentro de un mismo pantano. Scagel y Davis (1988) evaluaron las propiedades físicas y químicas de turbas empleadas en viveros forestales que producen en contenedor en Columbia Británica, y encontraron resultados muy variables. Una comparación en laboratorio de las propiedades físicas de cuatro marcas comerciales de turba de musgo ***Sphagnum***, reveló diferencias significativas en muchas de sus propiedades (cuadro 2.2.8). Carlson (1983), proporcionó estándares para pruebas de propiedades físicas y, recomienda la ejecución de tales pruebas en todas las fuentes potenciales de turba.

Peck (1984), clasifica en dos los distintos tipos de turba de musgo ***Sphagnum***: **turbas claras** (o turbas ligeras) y **turbas oscuras**. Las turbas ligeras de ***Sphagnum***, son llamadas así por su color claro y por su ligereza en peso (Nota del Traductor: en inglés, light denota color claro o peso ligero); éstas poseen un elevado volumen de poros internos, del cual una gran proporción (15 a 40%) es clasificada como porosidad de aireación. Las turbas oscuras de ***Sphagnum***, son el doble de pesadas que las turbas ligeras, y contienen un total de espacio poroso menor, con su correspondiente menor porosidad de aireación. La CIC de las turbas oscuras es aproximadamente el doble de la de las turbas ligeras de ***Sphagnum***. Peck (1984), considera a las turbas oscuras como menos convenientes para el cultivo de plantas en contenedor a largo plazo, ya que son menos durables y menos resilientes que las turbas de colores claros o ligeras.

Cuadro 2.2.7 Característica de varios tipos hortícolas de turba de musgo.

Tipo de turba de musgo	Planta componente	Grado de descomposición	pH	Capacidad de retención de humedad (%)	Contenido de nutrientes minerales (% ceniza)	(% N)	Densidad en seco (kg/m^3)
Turba ***Sphagnum***	***Sphagnum* spp.**	Muy bajo	3.0-4-0	1,500-3,000	1.0-5.0	0.6-1.4	72.1-112.1
Turba ***Hypnum***	***Hypnum* spp.**	Bajo	5.0-7.0	1,200-1,800	4.0-10.0	2.0-3.5	80.1-160.2
	***Polytrichum* spp.**						
	***Sphagnum* spp.**						
Turba de junco y caña	Cañas, juncos, pastos y espadañas	Medio	4.0-7.5	400-1,200	5.0-18.0	1.5-3.5	160.2-288.4
Turba de humus	No identificable	Alto	5.0-7.5	150-500	10.0-50.0	2.0-3.5	320.4-640.8

Fuente: modificado de Lucas *et al*. (1965).

Cuadro 2.2.8 Cuatro diferentes marcas de turba de musgo ***Sphagnum*** variaron en propiedades físicas, afectando el crecimiento de plantas de coníferas

Características físicas*	Marcas de turba de musgo *Sphagnum* A	B	C	D
Peso saturado (g/l)	718.0	735.0	660.0	685.0
Peso anhidro después de saturación (g/l)	58.0	94.0	64.0	73.0
Contenido de cenizas (%)	4.3	9.0	8.0	9.1
Densidad (g/ml)	0.054	0.088	0.060	0.068
Gravedad específica (g/ml)	1.53	1.56	1.56	1.56
Porosidad total (%)	96.0	94.0	96.0	96.0
Capacidad de agua por volumen (%)	62.0	60.0	56.0	57.0
Capacidad de aire (%)	35.0	34.0	40.0	38.0
Proporción grueso-fino	0.35	0.17	0.34	1.60

*Los procedimientos para determinar estas características y los estándares aceptables son explicados a detalle en la fuente.
Fuente: Carlson (1983).

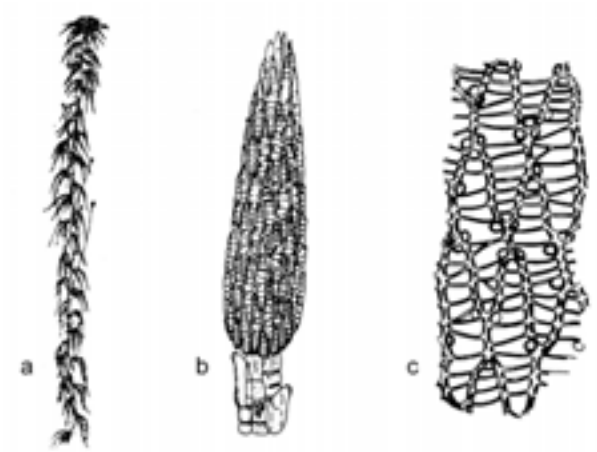


Figura 2.2.8 La turba de musgo se deriva de musgos del género ***Sphagnum*** (por ejemplo, ***S. cuspidatum***), los cuales pueden ser identificados por la característica estructura porosa abierta de las células de sus hojas (a = planta, b = hoja, c = aumento de la estructura interna de la hoja) (modificado de Peck, 1984).

2. Turba de musgo *Hypnum*. La materia orgánica contenida en este tipo de turba de musgo excede el 90% del peso anhidro, y está compuesta en más del 50% por musgos del género ***Hypnum*** (Bunt, 1988). La turba de musgo ***Hypnum*** generalmente es menos cara que la turba de musgo ***Sphagnum***, pero puede contener semillas de malas hierbas u hongos fitopatógenos a causa de las condiciones en que ésta se forma (Whitcomb, 1988). Mastalerz (1977), reportó que mucha de la turba producida en el norte de los Estados Unidos, contenía una elevada proporción de musgos ***Hypnum***. Los musgos de este género se descomponen más rápidamente que los musgos del género ***Sphagnum***, pero son utilizados en el medio de crecimiento de algunos cultivos hortícolas, específicamente para plantas intolerantes a la acidez (Peck, 1984). Los sustratos que contienen una elevada proporción de turba de musgo ***Hypnum***, no son recomendables para las plantas que se producen en contenedor.

3. Turba de musgo, junco y caña. Estas turbas están formadas de juncos, pastos, y plantas de pantano similares; una muestra anhidra debe contener un mínimo de 33% en peso de estos materiales (Bunt, 1988). Las turbas de musgo, juncos y cañas, generalmente poseen una textura fina, más descompuesta, y es menos ácida que la turba de musgo ***Sphagnum***. Mastalerz (1977), considera a esta clase de turba de musgo insatisfactoria para ser usada como medio de crecimiento, a causa de su rápida tasa de descomposición, fino tamaño de partículas y bajo contenido de fibra.

4. Turba de humus. La turba de humus incluye todos los tipos de turba de musgo que están en un estado de descomposición tan avanzado, que las plantas constituyentes ya no están reconocibles. La turba de humus, usualmente se deriva de turbas de juncos y cañas o de turba de musgo ***Hypnum*** (Lucas *et al*., 1965), y está compuesta por menos de 33% de fibra total de turba (Bunt, 1988). Puesto que este tipo de turba de musgo contiene con frecuencia una elevada proporción de otros materiales como cieno y arcilla, está considerado como indeseable para su uso en medios de crecimiento (Mastalerz, 1977).

Aunque otros tipos de turba de musgo tienen algunas aplicaciones hortícolas, el del género ***Sphagnum*** es el único tipo que puede ser recomendado para la producción de plantas de especies forestales en contenedor (fig. 2.2.9A). Pruebas a nivel operativo realizadas para comparar medios de crecimiento conteniendo turba de musgo ***Sphagnum,*** con medios conteniendo otros tipos de turba de musgo, arrojaron marcadas diferencias en crecimiento (fig. 2.2.9B).

Además del efecto del tipo de plantas que la componen, la textura de la turba está determinada por la forma en que la turba es recolectada y procesada. Ésta puede ser recolectada en pantanos mediante diversos procesos, incluyendo

la corta de bloques y el minado hidráulico. La corta de bloques involucra el corte de trozos de turba del pantano para luego fragmentarla hasta obtener una textura apropiada, mientras que con el minado hidráulico se troza mecánicamente la turba y luego se draga el líquido del pantano (Hellum, 1975). El método de cosecha puede afectar las características físicas de la turba de musgo, especialmente su porosidad (Wilson, 1985). El minado hidráulico produce rompimiento de la estructura de las partículas de la turba, ocasionando que se compacte en mayor medida, con la consecuente pérdida en las porosidades total y de aireación (cuadro 2.2.9). La corta de bloques de turba, comúnmente es preferida para los sustratos en contenedor por su textura gruesa. La Asociación Americana para la Prueba de Materiales define a la turba gruesa como aquella que tiene partículas mayores a 2.38 mm (aproximadamente 0.1 pulgada) (Bunt, 1988).

A

B

Figura 2.2.9 Los sustratos que contienen turba de musgo ***Sphagnum*** (**A** y porción izquierda de **B**) son consistentemente superiores para la producción de especies forestales en contenedor, en comparación con los medios compuestos por turba de musgo de menor calidad (porción derecha de **B**).

Figura 2.2.10 Los viveristas algunas veces utilizan innovadoras fuentes de materia orgánica como sustituto de la turba de musgo en los sustratos. La corteza de helechos arbóreos ha sido usada como componente orgánico del medio de crecimiento en regiones tropicales, ya que la turba de musgo resulta muy cara en estas regiones.

Aserrín, corteza y otros materiales orgánicos composteados. Aunque la turba de musgo es el componente orgánico más comúnmente empleado como sustrato, en Estados Unidos y Canadá, otros materiales orgánicos tienen potencial, especialmente en climas más cálidos, donde el costo de la turba de musgo ***Sphagnum*** puede ser muy elevado (fig. 2.2.10). Los residuos de madera, incluyendo el aserrín, la corteza y las virutas de madera, son materiales orgánicos alternativos que pueden ser usados en los sustratos, dependiendo de la disponibilidad local y de su costo. Las aguas cenagosas y las compostas de hongos también han sido probadas en viveros ornamentales (por ejemplo, Chong *et al*., 1988). Lippitt (1989) probó la cáscara del arroz como componente orgánico en un vivero forestal y reportó que tal material es barato, fácil de conseguir, consistente en calidad, resistente a la descomposición y se mezcla bien. Bunt (1988) y Mastalerz (1977), discuten compuestos orgánicos alternos que pueden ser usados como parte de medios de crecimiento en viveros ornamentales.

Cuadro 2.2.9 Comparación de las características de porosidad de turba de musgo obtenida con diferentes técnicas de cosecha.

	Método de cosecha	
Característica*	**Corte de bloques**	**Minado**
Porosidad total	95.4	91.8
Porosidad de aireación	46.0	32.5
Porosidad de retención de humedad	49.4	59.3
Agua fácilmente disponible	18.1	17.5

*Las unidades para cada característica son valores relativos obtenidos de mediciones al tamaño de las partículas. Fuente: adaptado de Wilson (1985).

A causa de su elevada relación carbono:nitrógeno (C/N), los residuos de madera deben ser composteados con correctores que provean nitrógeno suplementario, antes de ser utilizados (cuadro 2.2.10). La corteza fresca puede tener una proporción C/N de 300:1, por lo que es frecuentemente composteada antes de ser utilizada. Los materiales orgánicos varían considerablemente en sus tasas de descomposición, así como en la cantidad de nitrógeno requerida durante el composteo, aún para un mismo género de árbol (cuadro 2.2.11). Una excelente visión de la bioquímica y metodología del composteo, es proporcionada por Poincelot (1972); el composteo también es discutido a detalle por Mastalerz (1977), Bunt (1988), Whitcomb (1988) y Nelson (1978).

Cuadro 2.2.10 Nitrógeno requerido para el composteo de varios materiales orgánicos antes de usarse como componentes del sustrato.

Tipo de material orgánico	**N (kg/m^3)**
Turba de musgo ***Sphagnum***	0.04
Corteza de ***Sequoia sempervirens***	0.18
Aserrín de ***Libocedrus decurrens***	0.47
Aserrín de ***Sequoia sempervirens***	0.54
Aserrín de ***Pseudotsuga menziesii***	0.44
Aserrín de ***Pinus ponderosa***	1.19
Corteza de pino	1.48
Corteza de ***Abies concolor***	1.90

Fuente: Johnson (1968).

Aserrín. El aserrín es usado en forma común en sustratos hortícolas, y usualmente es composteado antes de emplearlo. Sin embargo, debido a las diferencias inherentes entre maderas distintas por cuanto toca a propiedades químicas, la conveniencia del aserrín como componente orgánico de los sustratos es variable en extremo. Mastalerz (1977), establece que se conoce que el aserrín de ***Libocedrus decurrens*** (Incense-cedar), de ***Juglans*** **spp**. (walnut) o de ***Sequoia sempervirens*** (redwood) tiene efectos fitotóxicos directos, y Gates (1986) consigna que el aserrín de ***Thuja plicata*** (western redcedar) es tóxico para muchas plantas hortícolas. Stewart (1986), reporta que unas coníferas cultivadas en tipos turbosos de suelo, acumularon mayores niveles de manganeso, y que el aserrín de tales árboles es fitotóxico si esos materiales son empleados en los medios de crecimiento. Worrall (1976), investigó las propiedades del aserrín de varias especies de ***Eucalyptus*** y encontró que, aún para el mismo género, la presencia de productos tóxicos variaba entre especies (cuadro 2.2.11). Solamente el aserrín de aserraderos debería ser considerado como sustrato, pues otros residuos de madera pueden contener productos químicos preservadores u otros productos dañinos. El aserrín de aserraderos enclavados en las costas puede contener elevados niveles de sales, que pueden resultar dañinas para el cultivo de las plantas (Gates, 1986). Obviamente, el aserrín ha de ser analizado químicamente antes de ser incorporado al sustrato. Otro problema potencial es la uniformidad en el tamaño de las partículas; el análisis del tamaño de las partículas de aserrín ha revelado una considerable variabilidad (Scagel y Davis, 1988).

Cuadro 2.2.11 La conveniencia del aserrín como componente del sustrato puede variar, incluso en árboles del mismo género

Especie de árbol	Concentración relativa de toxinas	Nitrógeno relativo retenido
Eucalyptus pilularis	8.2	1.0
E. andrewsii	6.5	1.2
E. microcorys	6.1	1.1
E. radiata	4.5	1.2
E. saligna	1.3	1.4

Fuente: modificado de Worrall (1976).

Corteza. La corteza probablemente es el más promisorio de los materiales orgánicos alternativos; cuando es preparada adecuadamente, tanto la de pinos como la de especies latifoliadas, encuentra amplia aceptación como componente de los medios de crecimiento, en los viveros ornamentales que producen en contenedor (Bunt, 1988; Mastalerz, 1977; Bilderback, 1982). Pokorny (1979), revisó las propiedades hortícolas de la corteza de pino, y Stewart (1986) describió la producción de un producto de corteza de pino comercialmente disponible, comercializado internacionalmente como "Cambark®". Un producto similar (Peatgro®) basado en corteza, está siendo usado para producir plantas en contenedores en Sudáfrica (Nelson, 1989).

La corteza de pino es ácida por naturaleza, tiene una baja fertilidad inicial, y también posee muchas otras propiedades benéficas (cuadro 2.2.1). Comúnmente, la corteza es agregada al sustrato para incrementar la porosidad de aireación; tanto más se incrementa la proporción de corteza en un medio de corteza-vermiculita, el porcentaje de espacios con aire aumenta significativamente (Lennox y Lumis, 1987). Pokorny (1987), encontró que las partículas de corteza tienen una porosidad interna de 43%, la cual proporciona agua para el crecimiento de la planta. La corteza composteada tiene una CIC mucho mayor que la corteza sin compostear, y también se ha demostrado que suprime la actividad de hongos fitopatógenos (Hoitink, 1980). Comparados con las mezclas estándar de turba-vermiculita, los medios de crecimiento que contienen corteza de pino, tienen una significativa menor mortalidad de plantas después de la inoculación con especies de ***Pythium*** y de ***Fusarium*** (Pawuk, 1981). En otros casos, la corteza puede reemplazar a la turba por razones de economía o de disponibilidad. Milbocker (1987) estimó el costo de la corteza de pino en la mitad del costo de la turba de musgo ***Sphagnum***.

La corteza usualmente es incorporada en una mezcla con otros componentes. Stewart (1986), recomienda agregar 25 a 50% de corteza de pino a la turba de musgo para formar un sustrato bien estructurado. El tamaño de las partículas de la corteza es importante, y Whitcomb (1988) recomienda pasar la corteza por un molino de martillo, con una criba de 2 a 2.5 cm (0.75 a 1.0 pulgadas) para producir el intervalo deseable en el tamaño de las partículas. Handreck y Black (1984) recomiendan una mezcla de tamaños de corteza de pino, incluyendo entre un cuarto a un tercio dentro del intervalo menor a 0.5 mm (0.02 pulgadas).

Una de las mayores desventajas de la corteza es su variabilidad. Se han reportado problemas en los viveros para obtener un abastecimiento regular de corteza con calidad consistente (Lippitt, 1989). Otros dos problemas potenciales relativos al uso de la corteza, son la deficiencia de nitrógeno y la presencia de toxinas orgánicas o inorgánicas (Bunt, 1988). El composteo de la corteza con fertilizante nitrogenado suplementario, provee el nitrógeno que los microorganismos necesitan durante la descomposición. La posibilidad de fitotoxicidad y su nivel dependen de la edad de la corteza, la época de su recolección, la especie de la cual procede, y la ubicación geográfica. La fitotoxicidad aparentemente está relacionada con el contenido de monoterpeno o manganeso de la corteza. Más información, así como tratamientos para la fitotoxicidad son dados por Bunt (1988).

Aguas negras cenagosas. Las aguas negras cenagosas son otro material orgánico que ha sido usado como componente de los medios de crecimiento, en los viveros hortícolas. El cieno es un material extremadamente variable, dependiendo de los materiales involucrados y del estado de procesamiento. Chong *et al*. (1988), cultivaron dos plantas leñosas ornamentales tanto en cieno primario como secundario, de dos papeleras diferentes. Estos autores reportaron que el contenido de nutrientes minerales de estos productos cenagosos fue variable, especialmente en nitrógeno, lo que originó un crecimiento irregular de las plantas. Simpson (1985) probó una composta de aguas negras cenagosas y de desechos de madera, para la producción de plantas de coníferas, pero encontró que este medio resultó inferior que el medio de crecimiento estándar de turba-vermiculita.

2.2.4.2 Componentes inorgánicos

Función del componente inorgánico. Los materiales inorgánicos son agregados a los sustratos para producir y mantener un sistema estructural de macroporos, que promueva la aireación y el drenaje, y que disminuya la capacidad de retención de humedad (Mastalerz,

1977). Muchos componentes inorgánicos poseen una CIC muy baja y proveen una base químicamente inerte para el medio de crecimiento. Los materiales inorgánicos con elevadas densidades, como la arena, son usados para proveer estabilidad a los contenedores grandes e individuales de los viveros ornamentales.

Tres materiales son utilizados en forma rutinaria como componentes inorgánicos de los sustratos, en los viveros de los Estados Unidos y Canadá que producen en contenedor: vermiculita, perlita y arena. De acuerdo con la encuesta sobre contenedores, realizada en 1984, la vermiculita es, con mucho, la más empleada, seguida por la perlita, en tanto que la arena únicamente fue mencionada por un vivero.

Vermiculita. La vermiculita es un mineral, silicato de aluminio-hierro-magnesio, que se obtiene en minas de los Estados Unidos y África, el cual consiste de una serie de placas delgadas y paralelas. Después de que la vermiculita es extraída, es sometida a un intenso calor (superior a los 1,000 ^{o}C o a los 1,832 ^{o}F), lo cual provoca la expansión de las partículas unas 15 o 20 veces, en comparación a su volumen original, y les provee de una estructura tipo acordeón (Bunt, 1988) (fig. 2.2.11).

La vermiculita tiene muchas propiedades únicas que la hacen muy útil para propósitos hortícolas (cuadro 2.2.1): es ligera en peso y su estructura en placas genera una elevada proporción superficie/volumen, produciéndose con esto una gran capacidad de retención de humedad. Las placas contienen numerosos sitios para retener cationes, tanto externa como internamente, lo que produce una elevada CIC; tal propiedad es única para los componentes de medios de crecimiento inorgánicos, que son típicamente inertes. Bunt (1988) reporta que, aunque la vermiculita aparentemente no tiene capacidad de intercambio aniónico, ésta puede adsorber fosfato en formas disponibles. La vermiculita contiene algo de potasio y de magnesio, los cuales son lentamente liberados para ser aprovechados por la planta. Debido a las elevadas temperaturas involucradas en su procesamiento, la vermiculita es estéril por completo. El pH de la vermiculita es variable, si bien normalmente se encuentra dentro de un intervalo neutral (pH de 7.0), muy alto para muchas especies de coníferas. Pero esto no representa problema alguno, pues la vermiculita normalmente es mezclada con materiales orgánicos más ácidos, como la turba de musgo ***Sphagnum*** (Biamonte, 1982; Mastalerz, 1977).

A

B

Figura 2.2.11 Las partículas de vermiculita hortícola (A) se asemejan a acordeones, a causa de su estructura expandida de placas paralelas (B), con la que se crea una extensa superficie interna (B, cortesía de Biamonte, 1982).

Mastalerz (1977), recomienda que sólo se empleen los tipos hortícolas de vermiculita como parte de los sustratos, ya que los tipos de vermiculita aislante con frecuencia son tratados con productos químicos repelentes al agua. El autor, sin embargo, ha usado sin problemas este tipo de vermiculita y, Goodwin (1975) también recomienda su uso en sustratos para contenedores. Tinus y McDonald (1979), establecen que la vermiculita vendida como lecho para aves de corral o para el sellado de desvanes, no solamente es aceptable, sino que también resulta barata. Sin embargo, la vermiculita tipo "bloque lleno" ha sido tratada con repelentes al agua, y no debe ser utilizada. Desde luego, los viveristas deben probar la vermiculita o cualquier otro componente del sustrato antes de usarlo a gran escala.

La vermiculita es producida en cuatro tipos, con base en el tamaño de las partículas, que determina la proporción relativa de porosidad de aireación y porosidad de retención de humedad (cuadro 2.2.12). Los tipos 2 y 3 son los más usados en los medios de crecimiento; el tipo 2 es preferido cuando se desea una mayor porosidad de aireación, mientras que el tipo 3 produce una mayor porosidad de retención de humedad. Debe enfatizarse que cada tipo de vermiculita normalmente contiene un intervalo de tamaño de partículas, dependiendo del tamaño de los tamices utilizados en la manufactura. En varios viveros del noroeste de los Estados Unidos, se ha comparado el crecimiento de plantas de coníferas en sustratos que contienen los grados 2 o 3 de vermiculita, y se ha encontrado un mejor crecimiento en el grado 2. Tinus y McDonald (1979), recomiendan el grado 1 para contenedores de 164 cm^3 (10 pulgadas cúbicas) o mayores, y el grado 2 para los contenedores más pequeños. Las partículas de vermiculita son inestables estructuralmente en un medio húmedo, y pueden comprimirse a través del tiempo (Ward *et al*., 1987). Por esta razón, la vermiculita no debe ser usada sola, ni con arena, y debe ser mezclada con perlita o turba, que dan resistencia contra la compactación (Bunt, 1988).

Perlita. La perlita es un mineral, silicato de aluminio, de origen volcánico, el cual es obtenido en minas de varios países, incluyendo los Estados Unidos y Nueva Zelanda. Después de ser extraído, el mineral es aplastado y expuesto a temperaturas tan altas como 1,000 ^oC (1,832 ^oF), produciéndose partículas blancas y ligeras en peso (fig. 2.2.12).

La perlita posee muchas características útiles que la hacen deseable como medio de crecimiento (cuadro 2.2.1). Una de tales propiedades únicas es su estructura de celdas bien cerradas: el agua se adhiere sólo en la superficie de las partículas de perlita, y por tanto el sustrato que contenga perlita tendrá buen drenaje, además de ser ligero en peso. La perlita es también rígida y no se comprime con facilidad, lo cual promueve una buena porosidad. Comparada con otros dos componentes inorgánicos como la arena y las piedrecillas, la perlita aumenta la porosidad de aireación de un sustrato basado en turba (Ward *et al*., 1987). Debido a las elevadas temperaturas a que es sometida durante su procesamiento, la perlita es completamente estéril. La perlita esencialmente es infértil, casi no contiene nutrientes para las plantas (cuadro 2.2.13), y tiene una CIC mínima (Bunt, 1988; Moore, 1988). El pH de la perlita está en un intervalo alrededor de la neutralidad (cuadro 2.2.1), lo cual no es significativo porque ésta normalmente es mezclada con un producto ácido, la turba de musgo ***Sphagnum*** (Nelson, 1978).

De acuerdo con la encuesta sobre contenedores en viveros, la perlita es un componente menor de los sustratos en los viveros forestales, comprendiendo del 10 al 30% de la mezcla. La perlita usualmente es agregada a componentes orgánicos, como la turba de musgo, a efecto de incrementar la porosidad de aireación, lo cual es de especial importancia en contenedores de pequeño volumen utilizados en los viveros forestales que producen en contenedor. Los tipos de perlita no están estandarizados, pero los tipos 6, 8 o el "tipo propagación" son comúnmente usados en los medios de crecimiento (cuadro 2.2.13). Los tipos de perlita tampoco son uniformes y contienen un intervalo de tamaños de partículas, dependiendo de los tamaños de los tamices utilizados en su manufactura.

Cuadro 2.2.12 Características físicas de varios grados de vermiculita.

Grado	Densidad (kg/m^3)	Tamaño de tamiz en los E.U.A.	Intervalo de tamaños de partículas (mm)	Porosidad de aireación (%)	Retención de agua (% peso)	(% vol.)
1	64.1-112.1	3/8-16	1.2-10.0	44.3	297	30.7
2*	64.1-128.2	4-30	0.6-4.7	40.4	412	39.0
3*	80.1-144.2	8-100	0.1-2.4	29.9	530	52.4
4	96.1-176.2	16-100	0.1-1.2	24.5	499	54.4

*Grados hortícolas estándares.
Fuente: adaptado de Biamonte (1982).

Figura 2.2.12 A causa de su cerrada estructura en celdas, que repele el agua, la perlita es agregada con frecuencia a los medios de crecimiento con el fin de incrementar la porosidad de aireación y el drenaje.

Cuadro 2.2.13 Composición elemental y grados hortícolas de la perlita

Elemento	Composición promedio (%)
Oxígeno	47.5
Silicio	33.8
Aluminio	7.2
Potasio	3.5
Sodio	3.4
Hierro	0.6
Calcio	0.6
Magnesio	0.2
Elementos traza	0.2
Agua retenida	3.0
Total	100.0

Grado*	Tamaño promedio de la partícula (mm)	Etiquetado comercial
No. 6	3.35	Tipo hortícola-grueso
No. 8	1.70	Tipo hortícola-fino
Propagación	3.20	Tipo propagación

* No hay grados estándares de perlita, por lo cual cada fabricante tiene su propio sistema de clasificación. Fuente: Instituto Perlita (1983).

La perlita tiene un par de desventajas operativas. Los tipos hortícolas pueden contener cantidades considerables (4% del peso) de partículas muy finas (Maronek *et al*., 1986), lo cual causa irritación ocular e irritaciones pulmonares durante el mezclado, a menos que la perlita haya sido humedecida previamente. Debido a su estructura con celdas cerradas, la perlita tiene la tendencia a flotar en la parte superior del medio de crecimiento durante el riego (Mastalerz, 1977); esto normalmente no representa un problema por las pequeñas porciones empleadas en los sustratos de plantas, que son producidas en contenedor. Gates (1986) reporta que las partículas de perlita tienden a aglutinarse sobre las paredes de los contenedores en bloque de poliestireno expandido, lo cual puede causar daño a los cepellones cuando las plantas son extraídas.

Otros materiales inorgánicos. Otros materiales inorgánicos que han sido usados como parte de los medios de crecimiento en viveros hortícolas, incluyen arena, piedra volcánica (fig. 2.2.13), carboncillos, arcillas calcinadas (expandidas con calor), lana de piedra, hojuelas de poliestireno y partículas de espuma. El uso de cualquiera de estos materiales dependerá de su costo y disponibilidad, pero se ve difícil que cualquiera de éstos pueda suplantar a la perlita y a la vermiculita, como los componentes inorgánicos primarios en los viveros norteamericanos que producen en contenedor.

La arena fue uno de los materiales más empleados en muchas de las recetas originales para sustratos hortícolas. Es uno de los materiales más fácilmente disponibles que pueden ser utilizados en los medios de crecimiento, y es relativamente barato. Las recomendaciones sobre su tamaño son considerablemente variables: Whitcomb (1988), recomienda un tamaño de partículas uniforme, de entre 2 a 3 mm (0.06 a 0.12 pulgadas), mientras que Matkin y Chandler (1957) especifican arenas finas con diámetros de 0.05 a 0.5 mm (0.002 a 0.02 pulgadas). Swanson (1989), recomienda que el 60% de las partículas de arena midan entre 0.25 y 1.00 mm (0.01 a 0.04 pulgadas), con menos del 3% menores a 0.1 mm (0.004 pulgadas), o mayores a 2 mm (0.08 pulgadas). Aunque las arenas frecuentemente son empleadas para incrementar la porosidad, las partículas pequeñas de arena pueden alojarse en los espacios porosos existentes, y reducir así la aireación y el drenaje (Ward *et al*., 1987). La arena puede agregar estabilidad a contenedores libres. Algunas arenas están contaminadas con carbonato de calcio, el cual aumenta el pH y origina problemas en la disponibilidad de nutrientes (Bunt, 1988). Aunque el pH no siempre es un buen indicador del contenido de $CaCO_3$ (Ward *et al*., 1987), los viveristas pueden probar arenas agregando una gota de ácido diluido o incluso vinagre fuerte; una reacción efervescente indica la presencia de $CaCO_3$.

Figura 2.2.13 La espuma volcánica es otro material nativo que está siendo usado como componente inorgánico de los medios de crecimiento; ésta tiene propiedades físicas semejantes a las de la perlita.

2.2.5 Seleccionando un Medio de Crecimiento

2.2.5.1 Interacciones entre el medio de crecimiento y las prácticas culturales

Debido a las diversas características de la variedad de componentes de los medios de crecimiento, un viverista que produce en contenedor puede formular un sustrato con casi cualquier propiedad deseada. No obstante, las propiedades físicas, químicas y biológicas de cada medio de crecimiento son diferentes, y también son afectadas por las prácticas culturales en el vivero, particularmente el riego, la fertilización y el tipo de contenedor. Incluso la duración de la etapa de cultivo debe ser contemplada. Scagel y Davis (1988), concluyeron que los viveristas deben ajustar sus prácticas culturales, a causa de la variabilidad física y química entre diferentes medios de crecimiento. Carlson (1983), evaluó cinco marcas distintas de turba de musgo ***Sphagnum*** procedentes de Canadá, y halló que cada marca implicaba ligeras modificaciones en las prácticas de cultivo, para producir un óptimo crecimiento en plantas de ***Picea*** y de ***Pinus***.

Prácticas de riego y fertilización. Las propiedades de retención de humedad y de disponibilidad de nutrientes de un sustrato están en función de sus diferentes componentes, así como de sus interrelaciones. Hoyle (1982), estudió el efecto de la técnica de riego, el tipo de fertilizante, y el tipo de sustrato en el crecimiento de plantas de ***Betula alleghaniensis*** (yellow birch). Utilizando dos tipos diferentes de medios de crecimiento basados en turba de musgo, dicho autor cultivó plantas de esta especie bajo dos tipos de sistemas de riego y tres tratamientos de fertilización. El crecimiento de las plantas varió significativamente entre los dos medios de crecimiento, dependiendo del sistema de riego y del tratamiento de fertilización que se aplicaba (fig. 2.2.14). El viverista que produce en contenedor, debe adaptar los regímenes de riego y de fertilización a las características del sustrato, y tendrá que alterar tales prácticas culturales si el medio es cambiado. Colombo y Smith (1988), cultivaron dos especies de coníferas en medios de crecimiento que contenían turba de musgo, de fuentes locales o comerciales, aplicando varias proporciones distintas de fertilización (fig. 2.2.15). Aunque las respuestas en crecimiento difirieron entre las especies, las plantas de mayor tamaño fueron aquellas cultivadas en el medio con turba de musgo comercial y vermiculita; los autores atribuyeron esta promoción del crecimiento a la mejor aireación y drenaje. Las prácticas de riego tuvieron que ser ajustadas al término de la estación de crecimiento, a causa de los cambios en la capacidad de retención de humedad del sustrato con turba y perlita (Langerud y Sandvik, 1988). Scagel (1989) concluye que muchos problemas de los medios de crecimiento pueden ser atribuidos a las deficientes prácticas de riego, más que al propio sustrato.

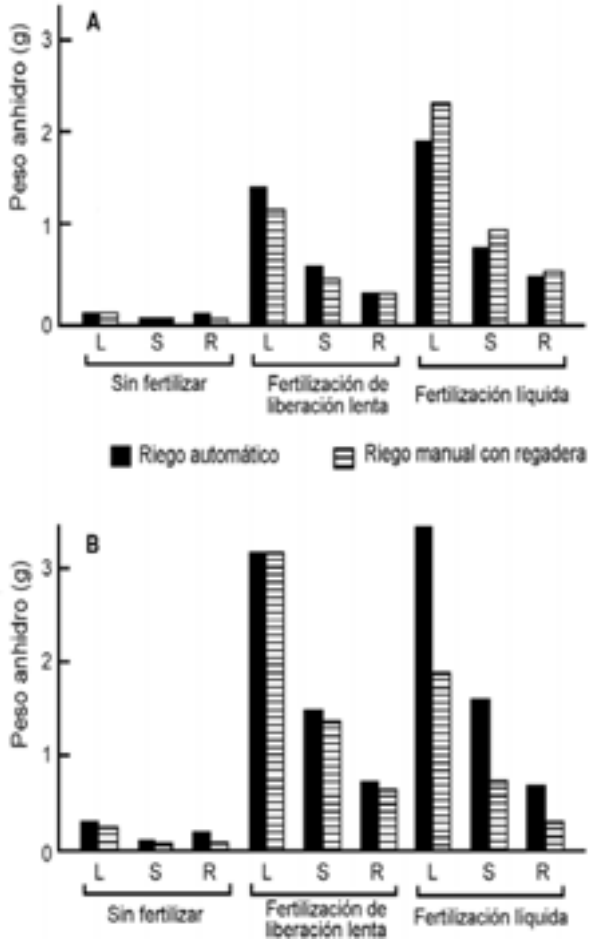


Figura 2.2.14 El crecimiento de plantas de ***Betula alleghaniensis*** (yellow birch) (L = hojas, S = tallos, R = raíces), fue afectado por las interrelaciones del medio de crecimiento, el tipo de sistema de riego y el tipo de fertilizante (adaptado de Hoyle, 1982). **A**, turba-perlita; **B**, turba-vermiculita.

Tipo de contenedor. Debido a la tabla de agua que es inherente al cultivo en contenedor, el tipo de éste último afectará la funcionalidad del medio de crecimiento. Los contenedores pequeños tienen una mayor proporción de su volumen en condición saturada, y por tanto requieren de un sustrato con una mayor porosidad de aireación que los contenedores grandes. Los contenedores con paredes porosas, como el paperpot, tienen diferentes relaciones hídricas y nutricionales que los contenedores impermeables, y por ello requieren un sustrato con mayor porosidad de aireación, y un régimen de riego diferente a los de los contenedores con paredes sólidas (Ver capítulo 2, volumen cuatro de este manual para una mayor discusión acerca del manejo del agua en los contenedores).

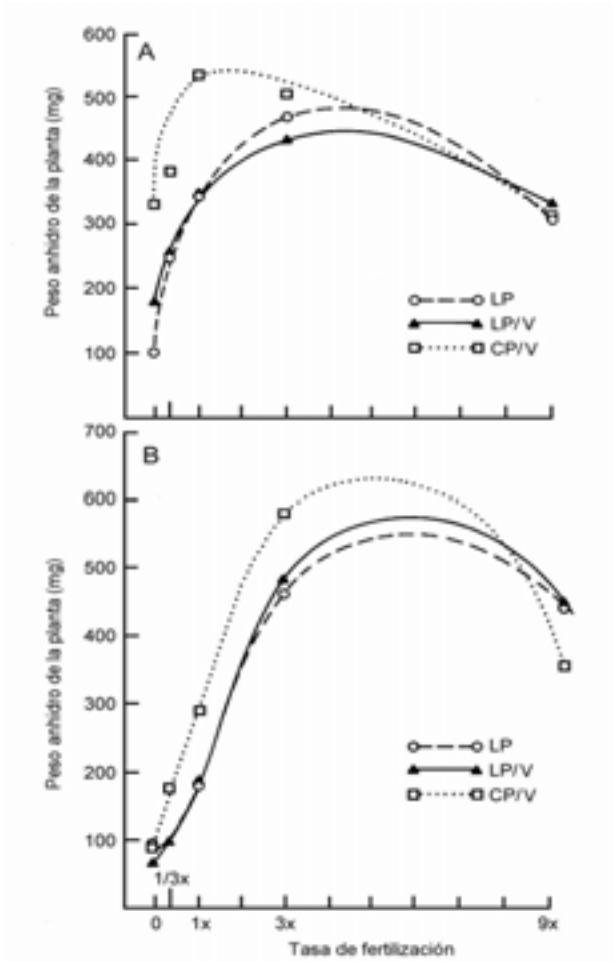


Figura 2.2.15 Tanto ***Picea mariana*** (black spruce)**(A**), como ***Pinus banksiana*** (jack pine)**(B)**, crecen mejor en un medio de turba de musgo y vermiculita comercial (CP/V), que en un medio compuesto por turba de musgo local (LP), o de turba de musgo local y vermiculita (LP/V), cuando son fertilizados a un tercio (1/3x) de la tasa normal, la tasa normal (x) y a tres veces ésta (3x); la fertilización más elevada (9x) reduce el crecimiento en todos los sustratos (Adaptada de Colombo y Smith, 1988).

Etapa de cultivo. Muchos viveros que usan contenedores producen más de un cultivo por año, y el tipo de sustrato puede requerir ser formulado en forma diferente para distintos ciclos de cultivo. Harlass (1984), reporta que los medios de crecimiento con altas capacidades de retención de humedad, no deben ser utilizados durante los períodos de baja luminosidad de otoño o invierno, porque las bajas tasas de evapotranspiración durante estos períodos, pueden conducir a condiciones de saturación de humedad. Un medio más poroso es mejor para los cultivos de otoño e invierno, mientras que un sustrato con una elevada capacidad de retención de humedad, es mejor para los cultivos de primavera y verano.

2.2.5.2 Consideraciones prácticas

Los viveristas forestales que producen en contenedor, enfrentan muchas consideraciones diferentes, cuando tienen que seleccionar un sustrato que pueda ajustarse a sus regímenes de cultivo. Las características culturales y operativas que fueron discutidas en la sección 2.2.3 (cuadro 2.2.14) deben ser evaluadas y comparadas para que el sustrato resultante, tenga las propiedades deseadas. No obstante, sobre una base práctica, son dos los factores más relevantes cuando se está seleccionando el medio de crecimiento: costo y disponibilidad del medio, así como su funcionalidad para la planta.

Costo y disponibilidad. Independientemente de las propiedades de los componentes específicos de los medios de crecimiento, el viverista debe ser capaz de hallar y poder adquirir los materiales respectivos. El costo es un factor relativo, y los viveristas deben considerar todos los aspectos de la situación. Muchos materiales utilizados en los sustratos, no son necesariamente caros; el costo de un componente específico del medio de crecimiento está más relacionado con los costos de transporte, que a su vez son función de características como peso y volumen. Pedidos de grandes cantidades de sustrato o de sus componentes, pueden reducir marcadamente el costo unitario (fig. 2.2.16). Materiales como la arena están fácilmente disponibles y son baratos, pero son tan pesados que los costos de manejo y de transporte frecuentemente son muy elevados. Otros componentes de los sustratos, como la vermiculita, tienen un gran volumen relativo que también incrementa los costos de transporte. Algunos materiales componentes son únicos para una área en particular del país, de manera que los viveristas primero deben considerar materiales locales, antes de importar componentes de medios de crecimiento de alguna otra localidad. Los

viveristas han desarrollado muchos usos innovadores para materiales orgánicos de desecho, que pueden ser sustitutos para la turba de musgo en los sustratos (Mastalerz, 1977). Los viveristas forestales de algunas islas del Pacífico que producen en contenedor, están investigando materiales nativos como medios de crecimiento, tales como la espuma volcánica y la corteza fibrosa de helechos arbóreos, ya que cualquier material de importación resulta bastante caro.

La decisión de comprar un sustrato que ya venga mezclado, o de hacer la propia mezcla a partir de componentes individuales (**mezcla hechiza**), es en primer término una cuestión relacionada con los costos de los materiales, y con la disponibilidad de equipo para realizar el mezclado. Comúnmente, los paquetes de turba de musgo y vermiculita pueden ser adquiridos más baratos que un mismo volumen de medio comercial. Sanderson (1983), reporta que el sustrato previamente empaquetado, puede resultar en un costo hasta cuatro veces mayor que el de la mezcla hechiza; asimismo Goodwin (1975), estima que un medio hechizo de turba-vermiculita, puede ser preparado con un tercio del costo del medio comercial. La verdadera consideración económica son los costos de mano de obra y del equipo para elaborar la mezcla; a causa de que tales costos varían entre viveros, no hay una comparación estándar de los mismos, por lo que cada viverista deberá realizar sus propios cálculos.

Whitcomb (1988), refiere que la mezcla hechiza de sustratos puede involucrar costos significativos por mano de obra. Kusey (1989), refiere varios costos ocultos de diversa índole que deben ser considerados, cuando se hace una comparación entre un medio de crecimiento comercial y la mezcla hechiza.

Nuevamente, a causa de que el sustrato es solamente un factor cultural de una serie interrelacionada de éstos, que afectan el crecimiento de la planta en el vivero, el viverista prudente debe contemplar el escenario general, antes de tomar una decisión sobre aspectos económicos de alguna práctica en particular. La combinación de prácticas culturales que lleven a producir planta de la mejor calidad en el menor período de tiempo, y a un costo aceptable, será la más económica en la evaluación final. Kusey (1989), concluye que las pequeñas diferencias en la calidad de los sustratos, al final pueden reflejarse en pérdidas significativas en la calidad de la planta.

Aptitud de la planta. Debido a las complejas relaciones entre los medios de crecimiento y las prácticas culturales, los viveristas deben realizar pruebas operativas con diferentes sustratos, bajo sus propios regímenes de cultivo. Desde luego, por razones de tiempo y de espacio, no es posible que cada vivero aborde una complicada serie de experimentos para todos los tipos de sustratos, así que inicialmente los viveristas deben confiar en las recomendaciones provenientes de la literatura, o en las de otros viveros.

Figura 2.2.16 Los componentes más populares de los sustratos pueden ser pedidos en grandes cantidades, como estos sacos de turba de musgo comprimida; un almacenamiento adecuado es esencial para evitar la contaminación.

Deben hacerse pequeñas pruebas operativas, usando diferentes sustratos para las diferentes especies y ciclos de cultivo. Los viveros que han establecido estas pruebas, con frecuencia han descubierto diferencias considerables en el rendimiento de la planta (fig. 2.2.9B).

En el análisis final, el mejor medio de crecimiento para un vivero en particular involucrará todos los factores de la tabla 2.2.14, y estará ajustado y a la medida del régimen de cultivo del vivero específico.

Cuadro 2.2.14 Clasificación de calidad para algunos componentes de sustrato estándares, con base en características culturales y operativas

Características del medio de Crecimiento	Componentes del medio de crecimiento				
	Inorgánico			Orgánico	
	Arena o piedra pómez	Vermiculita	Perlita	Turba de musgo	Aserrín o corteza
Culturales					
pH ligeramente ácido	V	0	0	+	V
Elevada CIC	_	+	_	+	+
Baja fertilidad básica	+	+	+	V	+
Grandes poros para aireación y drenaje	+	V	+	V	V
Pequeños poros para la capacidad de retención de humedad	_	V	_	+	+
Libre de plagas	V	+	+	V	V
Operativas					
Densidad	+	_	_	_	_
Disponibilidad	+	V	V	V	+
Costo	+	V	V	V	+
Uniformidad/reproducibilidad	V	+	+	V	V
Durabilidad/almacenable	+	+	+	+	V
Cambios en volumen	+	+	+	V	V
Mezclado/ llenado	+	+	+	V	V
Capacidad de rehumedecimiento	+	+	+	_	_
Formación del cepellón	_	+	_	+	V

Calificación: + = efecto positivo, _ = efecto negativo, 0 = sin efecto, V = efecto variable.

2.2.5.3 Medios de crecimiento comerciales

Existen muchas marcas comerciales de sustratos en el mercado. Harlass (1984) refiere 54, Judd (1983) revisó los componentes de 32 marcas, y Sanderson (1983) discute los componentes y propiedades nutricionales de 23 productos diferentes, disponibles comercialmente. Algunos de estos productos están formulados especialmente para un cultivo hortícola específico, en tanto que otros, son de naturaleza más genérica. Pocas compañías ofrecen un sustrato específicamente diseñado para plantas de especies forestales (fig. 2.2.17); el que tal medio especializado sea mejor que los tipos genéricos, solamente puede ser determinado a través de pruebas operativas en viveros. La encuesta sobre contenedores reveló que solamente 35% de los viveros que producen en contenedor, en Estados Unidos y Canadá, compraron marcas comerciales de sustratos.

Cuando se han evaluado diferentes marcas comerciales de medios de crecimiento, sólo aquellos basados en turba del género ***Sphagnum*** fueron considerados para el crecimiento de especies forestales. Lackey y Alm (1982), evaluaron cinco tipos de sustratos distintos, incluyendo dos marcas comerciales preparadas, conteniendo turba de musgo ***Sphagnum***. A las plantas de ***Pinus resinosa*** (red pine) que fueron cultivadas en cada medio de crecimiento, les fueron medidas una serie de parámetros de crecimiento, y también fueron calificadas en cuanto a la formación del cepellón y calidad de la planta. Los medios comerciales fueron consistentemente mejores. La Mezcla Forestry Mix®, fue superior para todos los factores de crecimiento, mientras que la Mezcla Jiffy Mix®, sólo resultó significativamente superior que los sustratos hechizos (o hechos a la medida) en cuanto a la altura del tallo. La calificación de la calidad del cepellón y los índices de calidad de la planta, resultaron mejores para aquéllas cultivadas en los sustratos comerciales, consistentes en turba de musgo ***Sphagnum*** (cuadro 2.2.15).

Figura 2.2.17 Existen varias marcas comerciales de sustratos, algunas de las cuales están formuladas para cultivos específicos, incluyendo especies forestales.

Cuadro 2.2.15 Parámetros de calidad de plantas de Pinus resinosa (red pine) cultivadas en diferentes tipos de sustratos

Composición del sustrato	Diámetro del tallo (mm)	Altura del tallo (cm)	Peso del tallo (g)	Peso de la raíz (g)	Proporción Tallo/ Raíz	Calificación de calidad del cepellón	Indice de calidad
Mezclas hechizas (usando turba de musgo genérica)							
1:1 Turba de musgo- vermiculita	1.5ab	8.0a	0.86a	0.18a	4.95a	2.1	0.10
2:1 Turba de musgo-vermiculita	1.4b	7.9a	0.83a	0.16a	5.39a	1.9	0.09
3:1 Turba de musgo-vermiculita	1.4b	7.8a	0.80ª	0.17a	4.76a	2.1	0.09
Mezclas comerciales (usando turba de musgo ***Sphagnum***)							
Mezcla Forestry® Mix	1.9c	9.7b	1.22b	0.36b	3.51b	3.9	0.19
Mezcla Jiffy ® Mix	1.6a	8.9c	0.92a	0.19a	4.85ª	3.9	0.11

Los valores de cada columna que no tienen letras en común, exhibieron diferencias significativas con una P = 0.05.
Fuente: adaptado de Lackey y Alm (1982).

2.2.5.4 Medios de crecimiento hechizos

Con base en la encuesta, 65% de los viveros forestales en los Estados Unidos y Canadá, mezclan sus propios medios de crecimiento; en ello son usados principalmente cinco materiales: la turba de musgo del género ***Sphagnum***, el aserrín, la vermiculita, la perlita y la arena. Con mucho, las mezclas de turba-vermiculita fueron las más populares (78%), seguidas por la turba pura (11%), por la mezcla turba-vermiculita-perlita (6%), y por la mezcla turba-perlita (2%). La proporción de turba de musgo ***Sphagnum***-vermiculita en los sustratos osciló entre 1:1 a 3:1, siendo la proporción 1:1 la más popular.

Para las mezclas hechizas de sustrato, el autor recomienda una mezcla de turba de musgo ***Sphagnum*** de textura gruesa y vermiculita. Barnett y Brissette (1986), revisaron la literatura y hallaron que la mezcla turba de musgo ***Sphagnum***-vermiculita, produce la mejor calidad de plantas en forma consistente. La turba de musgo ***Sphagnum*** es el único tipo de turba de musgo que se recomienda, aunque otros tipos de turba de musgo son más baratos. La vermiculita debe ser de grado 2 o 3, el primero a ser empleado para producir medios más porosos y bien drenados, mientras que el segundo a ser utilizado, para proporcionar una mayor capacidad de retención de humedad. Una baja proporción de perlita (10 a 30%) también puede ser agregada con el propósito de incrementar la porosidad de aireación de la mezcla.

2.2.5.5 Comparación de medios de crecimiento comerciales y sustratos hechizos

Control de calidad. Muchos proveedores comerciales han establecido estándares para que la calidad de distintos lotes de sustratos pueda mantenerse constante, pero los viveristas tienen que depender de la integridad profesional y reputación del productor comercial. Kusey (1989), aboga por el uso de medios comerciales, porque los productores tienen programas de control de calidad rigurosos, y algunos inclusive tienen sus propias instalaciones para la realización de pruebas y de investigación. En el caso de las mezclas hechizas, sin embargo, los viveristas forestales que producen en contenedor tienen control directo sobre las propiedades de su sustrato, ya que la calidad de cada componente puede ser evaluada específicamente.

Capacidad para "afinar" el sustrato. Aunque existe una amplia selección de tipos y marcas de sustratos comerciales, los viveristas han reportado problemas para la obtención de medios preempaquetados con propiedades especializadas. Obviamente resulta antieconómico, para los productores comerciales a gran escala, alterar los componentes y operaciones de mezclado para abastecer pedidos pequeños. No obstante, algunas firmas locales han comenzado a producir mezclas hechizas de sustratos, y pueden trabajar con los viveristas para satisfacer sus necesidades individuales (fig. 2.2.17). Por otra parte, debido a que el viverista tiene el control sobre las proporciones y propiedades de los diferentes componentes, pueden prepararse lotes pequeños de sustrato hechizo, con propiedades físicas y químicas específicas, como el pH o la porosidad de aireación, para satisfacer los requerimientos biológicos de un cultivo en particular.

Tiempo y trabajo. Los medios comerciales pueden ser ordenados por adelantado en grandes cantidades, ahorrándose tiempo y trabajo durante la operación de llenado de los contenedores. Los viveros forestales pequeños que producen en contenedor, que frecuentemente no pueden invertir en equipo de mezclado o contratar personal extra

para hacer la mezcla, usualmente encuentran en los sustratos comerciales la opción más económica y conveniente. Aunque las mezclas hechizas pueden ser elaboradas por adelantado, muchos viveros mezclan sus medios como parte del proceso de llenado de los contenedores. La labor adicional y el costo del equipo especializado para el mezclado, deben ser considerados como parte del costo total del sustrato.

Incorporación de fertilizantes y otros productos correctores. Muchas marcas de sustratos comerciales contienen caliza para aumentar el pH de la mezcla hasta un valor óptimo, y otros contienen una carga inicial de nutrientes para promover un crecimiento temprano de la planta. Los humectantes frecuentemente son agregados a las mezclas comerciales para promover su humectabilidad. Los fertilizantes, agentes de humedecimiento y la caliza, agregados a los sustratos comerciales, pueden no ser deseables y pueden ser detrimentales para el crecimiento de especies forestales; muchas marcas están formuladas para distintos cultivos de estas plantas (ver sección 2.2.6.3 para más detalles).

Mezclado uniforme. Los productores de mezclas comerciales tienen tanto el equipo adecuado como los conocimientos para producir un sustrato bien mezclado. Sin embargo, los viveristas pueden encontrar dificultad para obtener una mezcla uniforme, incluso la distribución de fertilizantes y otros materiales a incorporar, con algunos de los equipos utilizados para la elaboración de mezclas hechizas. El personal sin experiencia tiende a mezclar en exceso los lotes de los sustratos; el sobremezclado rompe la estructura física de las partículas del sustrato, acarreando problemas de compactación más adelante en la estación de cultivo (ver secciones 2.2.6.4 y 2.2.7).

2.2.6 Mezclado de Sustratos Hechizos - Procedimientos y Consideraciones.

El proceso de mezclado es una de las etapas más importantes en la formulación de sustratos hechizos; los componentes de la mejor calidad no resultarán útiles si el medio de crecimiento es mezclado inadecuadamente. Whitcomb (1988), enfatiza que el mezclado inapropiado es una de las principales causas de variación en la calidad de las plantas que son producidas en contenedor. Los procedimientos adecuados de operación, son tan importantes como la compra del tipo adecuado de equipo de mezclado. Kusey (1989), menciona que el mezclado debe ser llevado a cabo por trabajadores diligentes y con experiencia, que puedan supervisar fielmente la calidad de los sustratos de una manera confiable. La incorporación de fertilizantes y suplementos debe ser considerada, así como las formas de tratar al sustrato ante plagas que nacen en el suelo. La compactación de los sustratos merece atención especial, porque se ha demostrado que representa uno de los problemas más serios y es difícil de diagnosticar, en los cultivos de viveros que producen en contenedor.

2.2.6.1 Equipo y procedimientos

Mezclado de lotes pequeños. Los viveros pequeños frecuentemente no pueden invertir en equipo de mezclado especializado, y prefieren preparar manualmente lotes pequeños de sustrato. Nelson (1978), refiere que los lotes de más de 0.25 m^3 (5 o 6 pies cúbicos) pueden ser mezclados, sobre una superficie limpia y dura, por trabajadores con palas.

Para mezclar los componentes, amontónelos uno encima de otro y agregue sobre el montón cualquier corrector que vaya a emplear. A continuación trabaje alrededor del borde del montón con una pala grande de cuchara, tomando una palada de material a un tiempo y volteándola sobre la parte superior del montón. Conforme el material es agregado encima del montón, se derrumba a los lados de éste y es mezclado. Asegúrese que el centro del montón sea mezclado mediante un movimiento gradual hacia un lado durante el proceso. Hay que humedecer el montón con agua a intervalos frecuentes durante el proceso de mezclado, para hacer al medio menos hidrofóbico. Continúe con el procedimiento hasta que se obtengan muestras bien mezcladas de la pila.

Mezclado mecanizado. Los viveros que regularmente requieren de grandes cantidades de mezclas hechizas, deben comprar un mezclador o revolvedora. Se encuentran disponibles a escala comercial varias marcas de mezcladores y combinaciones de mezcladores/llenadores de contenedores. Whitcomb (1988), recomienda los mezcladores tipo paleta, los cuales tienen el cilindro estacionario, y dentro de éste un juego de paletas montadas mezclan los componentes. Handreck y Black (1984) prefieren los mezcladores de correa, que automáticamente alimentan con cada componente a una banda transportadora ajustable; el mezclado ocurre al fin de la banda, cuando los componentes caen dentro de un pequeño tambor que hace rotaciones lentamente, o directamente dentro de la mezcladora/llenadora. Las mezcladoras tipo barrena, las trituradoras, y las desmenuzadoras de suelo, no son recomendables porque rompen la estructura de las partículas y acaban con la porosidad (Judd, 1984; Bartok, 1985). El equipo de mezclado modificado, como son las revolvedoras de cemento portátiles (fig. 2.2.18A), con una capacidad de 0.1 a 0.2 m^3 (3 a 6 pies cúbicos) o incluso los camiones para concreto (fig. 2.2.18B), con una capacidad de 4 a 8 m^3 (5 a 11 yardas cúbicas), pueden ser convertidos a mezcladores de sustrato. Los mezcladores simples de lotes de sustrato pueden producir de 0.2 a 9.2 m^3 (0.25 a 12 yardas cúbicas) de sustrato por hora, en comparación con los sistemas continuos de mezclado, que pueden producir más de 38.2 m^3 (50 yardas cúbicas) por hora (Bartok, 1985).

Cualquier equipo de mezclado debe ser modificado con boquillas aspersoras para que el sustrato pueda ser humedecido gradualmente, y con inyectores de aire vaporizado, para su pasteurización (Nelson, 1978). La esterilidad debe ser mantenida durante todo el proceso de mezclado, tanto para los componentes individuales como para el producto final (Bartok, 1985).

A

B

Figura 2.2.18 Varios tipos de equipo han sido modificados como mezcladores para sustratos hechizos, incluyendo pequeñas revolvedoras portátiles de cemento (A), y camiones para concreto adaptados (B).

2.2.6.2 Incorporación de fertilizantes y de otros materiales

Una variedad de materiales son agregados durante el proceso de mezclado en forma rutinaria; éstos incluyen fertilizantes, cal, humectantes e inóculo micorrízico. Bartok (1985), establece que 0.76 m^3 (1 yarda cúbica) de sustrato bien mezclado para su uso en viveros ornamentales que producen en contenedor, puede llevar de 0.45 a 0.91 kg (1 a 2 libras) de fertilizante con macronutrientes, 2.27 a 9.08 kg (5 a 20 libras) de piedra caliza y 56.7 g (2 onzas) de micronutrientes. La incorporación uniforme de estos materiales es importante, pues las raíces de las plantas solamente tienen acceso a un volumen limitado de sustrato, en los contenedores relativamente pequeños, que son utilizados en los viveros forestales. Es particularmente difícil la incorporación de volúmenes pequeños de material seco, como es el fertilizante con micronutrientes, dentro de un sustrato humedecido. Es baja la probabilidad de obtener la misma distribución en cada contenedor para cada fertilizante corrector, particularmente en el caso de las pequeñas cantidades de fertilizante con micronutrientes. Gladon (1988), establece que al comienzo de la estación de crecimiento muchos problemas se deben a una inadecuada incorporación de productos correctores, y Whitcomb (1988), concluye que el mezclado no uniforme de fertilizantes incorporados, es uno de los principales factores que originan crecimiento desigual en las plantas que crecen en contenedor.

Los productos correctores químicos incorporados pueden separarse durante el manejo subsiguiente, si los fertilizantes secos son mezclados con componentes secos del fertilizante (Bartok, 1985). El prehumedecimiento de los componentes del sustrato, como la turba de musgo y la vermiculita, con agua caliente conteniendo un surfactante, facilitará la agregación de las partículas de fertilizante y del medio durante el proceso de mezclado, eliminando este problema.

Piedra caliza. Tradicionalmente la piedra caliza, denominada cal en horticultura, ha sido agregada al medio de crecimiento en los viveros ornamentales que producen en contenedor, para aumentar el pH y para proveer calcio para la nutrición de las plantas. En realidad las calizas empleadas en agricultura [(carbonato de calcio ($CaCO_3$), o la dolomita ($CaCO_3 \bullet MgCO_3$)] son usadas en lugar de la cal viva (CaO) o la cal apagada (CaOH) en aplicaciones hortícolas (Bunt, 1988). El encalado nos remonta a aquellos días cuando los sustratos basados en suelo eran comunes; sin embargo, Williams et al. (1988) establecen que las reacciones químicas son diferentes en los sustratos artificiales, y por tanto el encalado debe ser descontinuado en los viveros modernos que producen en contenedor. El encalado aún es practicado en algunos viveros forestales, como los de la costa de Columbia Británica, donde el agua de riego contiene bajos niveles de calcio (Gates, 1986).

La adición de cal a los medios de crecimiento no es recomendada en este manual por varias razones:

- Es difícil operativamente distribuir de manera uniforme la caliza durante el proceso de mezclado (ver sección 2.2.5.5).

- El pH naturalmente ácido de los medios con turba-vermiculita, no necesita ser altamente incrementado en el caso de muchos cultivos de especies forestales. La turba de musgo ***Sphagnum*** tiene un pH de 3.5 a 4.0, y la vermiculita de 6.0 a 7.6 (cuadro 2.2.1); una mezcla de estos dos componentes produce un sustrato con un pH cercano al intervalo ideal de 5.0 a 6.0. En efecto, el pH inicial de tres medios típicos de turba-vermiculita tuvo un pH

de 4.06 (Scarratt, 1986) (cuadro 2.2.3). Culturalmente es mucho más fácil aumentar un pH inicialmente bajo que disminuirlo cuando es muy alcalino; el pH de un sustrato ácido fácilmente puede ser aumentado a un intervalo de pH ideal, a través de una rutina de riego e inyección de fertilizantes. En efecto, el pH del sustrato en los contenedores se hace ligeramente más alcalino a través del tiempo, debido al efecto de los bicarbonatos del agua de riego y al de los fertilizantes alcalinos (Bunt, 1988). Gladon (1988), estimó que el pH de un sustrato puede aumentar de media unidad a una unidad entera, durante la etapa de cultivo.

- La nutrición con calcio puede ser proporcionada mucho más rápida y fácilmente con fertilizantes ricos en calcio y solubles al agua (por ejemplo, nitrato de calcio), que con la piedra caliza o con la dolomita, en donde está disponible con lentitud. La deficiencia de calcio puede ser un problema serio con plántulas jóvenes, debido a sus restringidos sistemas radicales. En este caso, las inyecciones de fertilizante soluble, aplicadas temprano en la estación de crecimiento, pueden ser más efectivas que la incorporación de fertilizantes granulares.

La aplicación de cal ha causado algunos problemas reales en la operación de viveros forestales que producen en contenedor. Dangerfield (1978), encontró que la adición de piedra caliza dolomítica a un sustrato de turba-vermiculita, induce clorosis por cal en plantas de ***Pseudotsuga menziesii*** (Douglas-fir) y tal autor concluye que la práctica de incorporación de cal debe ser descontinuada. Aún en especies latifoliadas, que prefieren condiciones ligeramente menos ácidas, la cal es difícil de justificar. Plantas de ***Eucalyptus saligna*** (saligna eucalyptus) a las que se les aplicó dolomita en un medio de turba-vermiculita, presentaron una reducción en el crecimiento y con deficiencias de varios micronutrientes, especialmente cobre, después de la aplicación de dolomita (Miyasaka *et al.*, 1983). Chrustic y Wright (1983), concluyeron que no existe ventaja al aplicar cal a un medio basado en corteza de pino, si todos los nutrientes minerales son proporcionados en la concentración y el balance adecuados. (Los aspectos nutricionales de la práctica de aplicar cal son discutidos con más detalle en el capítulo 1, volumen cuatro, de este manual).

Fertilizantes. La incorporación de fertilizantes es una práctica común en la producción de planta ornamental, y a veces en la de plantas de especies forestales en contenedor, particularmente cuando no está disponible un equipo de inyección para la fertilización en líquido, o cuando las plantas son cultivadas al aire libre, en áreas con elevada precipitación. La incorporación de micronutrientes es más común porque los sustratos artificiales tienen serias deficiencias de éstos. (Una discusión completa sobre los méritos de la fertilización se proporciona en el capítulo 1, volumen cuatro, de este manual).

Humectantes. Estos aditivos químicos, que también son conocidos como agentes surfactantes (fig. 2.2.19), rompen la tensión superficial del agua e incrementan la humectabilidad de materiales orgánicos hidrofóbicos, como la turba de musgo y la corteza de pino. Desafortunadamente se conoce poco sobre los efectos químicos y físicos de estas substancias en el sustrato, y algunos de ellos pueden ser detrimentales (Ward *et al*., 1987). Whitcomb (1988), advierte que no todos los agentes de humedecimiento pueden ser usados con seguridad: algunos son fitotóxicos para ciertos tipos de plantas leñosas. Barnett y Brissette (1986), revisaron la literatura y reportan que en algunos casos, las dosis de aplicación fueron muy elevadas para las especies forestales. Un producto ampliamente utilizado (Aqua-gro®), redujo la germinación de las semillas de cuatro especies de pino del sur de los Estados Unidos, a pesar de haberse aplicado en la dosis recomendada de 0.1%; la reducción de la dosis a aproximadamente 0.02 a 0.04% proporciona una adecuada acción de humedecimiento sin causar efectos fitotóxicos (Barnett, 1977). Pokorny (1979), probó 24 humectantes comerciales empleando como sustrato corteza de pino, y encontró que solamente 9 productos resultaron tanto seguros como efectivos.

Con el tiempo, los humectantes incorporados pueden hacerse inactivos. Ward *et al*. (1987) reportan que, aunque son efectivos inicialmente, los humectantes deben ser reaplicados durante la etapa de cultivo.

Súper absorbentes. Los super absorbentes son polímeros con cadenas cruzadas que absorben muchas veces su propio peso en agua. Estos han sido propuestos como agentes aditivos para incrementar la capacidad de retención de humedad de los medios de crecimiento. Varios productos están disponibles, pero no todos son convenientes para aplicaciones hortícolas. Una clase de super absorbente (copolímero propanato propamida), ha demostrado incrementar la capacidad de retención de humedad, promover la aireación y el drenaje y reducir los requerimientos de riego del sustrato (Erazo, 1987).

Figura 2.2.19 Los humectantes (agentes de humedecimiento) reducen la tensión superficial del agua, y son utilizados para incrementar la humectabilidad de materiales hidrofóbicos como la turba de musgo.

Aunque estos productos se agregan a los sustratos en viveros ornamentales, actualmente los super absorbentes no son ampliamente usados en los viveros forestales. Lennox y Lumis (1987), investigaron el uso de gel hidrofílico en medios de crecimiento, y encontraron que un aditivo (Terra-Sorb®) incrementó la capacidad de retención de humedad en 5% solamente, lo cual probablemente resulta no significativo para la producción de especies forestales en contenedor. En otro estudio, se encontró que el producto Terra-Sorb, aumenta la capacidad de retención de humedad del sustrato y retrasa el marchitamiento de plantas de tomate (Adams y Lockaby, 1987). Los súper absorbentes pueden no satisfacer necesidades en muchos viveros que producen en contenedor, a causa del esquema de riego regular, pero su uso puede justificarse en otros casos, especialmente si la disponibilidad de agua es limitada.

Inóculo micorrízico. Un método para inocular con hongos micorrízicos a las plántulas de especies forestales producidas en contenedor, es incorporar inóculo fúngico especialmente preparado dentro del sustrato durante el mezclado. (Los beneficios de las micorrizas y los detalles del procedimiento de inoculación, se discuten en el capítulo 2, volumen cinco, de este manual). En el futuro, otros organismos benéficos, como rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas, podrán ser inoculadas dentro del medio de crecimiento (Digat, 1988).

2.2.6.3 Pasteurización o esterilización

Normalmente se asume que los sustratos artificiales están libres de plagas provenientes del suelo, pero tal supuesto ha sido puesto en duda en años recientes. Los componentes inorgánicos comunes de los medios de crecimiento, como la vermiculita y la perlita, son inherentemente estériles, pero de la turba de musgo y otros componentes orgánicos no se tiene la seguridad. Un brote reciente de enfermedades de raíz en plántulas de coníferas en la región del Pacífico Noroeste, ha sido aducida a un hongo fitopatógeno del sustrato hecho de turba y vermiculita (Husted, 1988). La fuente precisa de contaminación no siempre es evidente. La contaminación de la turba en ocasiones puede provenir directamente del pantano, o áreas de pantanos, o de ciertas etapas durante la recolección o el procesamiento de la turba. Se desconoce la proporción real de contaminación en los sustratos, pero los viveristas deben guardar ciertas precauciones sobre el particular.

Algunas marcas de sustratos comerciales pueden tratar sus productos, y anunciar que sus mezclas son estériles en esencia (fig. 2.2.20A). La esterilización se refiere a la total eliminación de todo organismo viviente del medio, mientras que la pasteurización no es tan drástica. Un medio de crecimiento completamente estéril puede no resultar particularmente deseable, debido a que en el sustrato existen muchos microorganismos benéficos, como bacterias, actinomicetos y hongos, que pueden ser antagonistas a los fitopatógenos (Wolffhechel, 1988). El calor del vapor (fig. 2.2.20B) puede ser usado para pasteurizar o para esterilizar el sustrato, dependiendo de la temperatura aplicada. La pasteurización con calor es considerada generalmente preferible, siempre y cuando se cuente con el equipo adecuado (Bunt, 1988); la recomendación estándar es calentar el sustrato de 60 a 82 ^{o}C (140 a 177 ^{o}F) por un mínimo de 30 minutos (fig. 2.2.20C). Aunque la fumigación química esteriliza por completo el medio, la fumigación con bromuro de metilo ha probado ser efectiva para el control de algunas enfermedades procedentes del suelo (Garren *et al*., 1989).

Tanto la pasteurización como la fumigación son costosas, toman tiempo y, como todo tratamiento para el control de plagas, tiene sus desventajas (Bunt, 1988). Quizá el procedimiento más prudente sea obtener muestras de la turba de musgo, o de la mezcla del sustrato, y analizar la presencia de fitopatógenos, de modo que los lotes contaminados puedan ser oportunamente tratados o rechazados. Las especificaciones de compra pueden ser establecidas por escrito para requerir pruebas de patógenos. Estas medidas preventivas, como todo tratamiento para el control de plagas, deben ser parte de una estrategia general para el control de plagas. (Ver capítulo 1, volumen cinco de este manual, para mayor información sobre fitopatógenos procedentes del suelo y sobre el tratamiento a los sustratos).

A

B

C

Figura 2.2.20 Algunas marcas de sustratos comerciales son anunciados como "estériles" (A); la pasteurización con vapor (B) es benéfica, ya que su relativamente baja temperatura (C) puede eliminar muchas plagas del suelo sin la pérdida de microorganismos benéficos.

2.2.6.4 Problemas de sobremezclado y de compactación

El mezclado excesivo puede romper la estructura de las partículas del sustrato, lo cual promueve la compactación, y puede destruir la porosidad de aireación del medio. Los materiales frágiles, como la vermiculita y la turba de musgo, son fácilmente dañados durante el mezclado. Milks *et al*. (1989), hallaron que humedeciendo la turba-vermiculita antes del mezclado, se previene la compactación, aunque los componentes demasiado húmedos resultan pesados y pueden compactarse con facilidad. En un lote típico de medio de turba-vermiculita, las fibras individuales de la turba y las partículas de vermiculita deben mantenerse visibles (fig. 2.2.21), y el medio debe mantener una textura esponjosa; un medio que está fino o pulverizado, probablemente ha sido dañado. Algunos viveristas prefieren medios de crecimiento con textura fina, porque así es más fácil de cargar en contenedores pequeños, pero tales medios tienden a comprimirse en el contenedor, reduciéndose la porosidad. En los medios de crecimiento sobremezclados se reducen la aireación y el drenaje, lo cual implica problemas para el crecimiento de la raíz (ver sección 2.2.3.1).

El mezclado mecanizado fácilmente puede ser realizado en exceso si los mezcladores se dejan funcionando mucho tiempo, o si son llenados en exceso, o si los componentes están muy húmedos (Whitcomb, 1988; Handreck y Black, 1984). Ciertos tipos de mezcladores resultan más dañinos que otros (ver sección 2.2.6.1). Muchos mezcladores pueden hacer un trabajo adecuado en 3 o 4 minutos, siempre y cuando sean llenados a aproximadamente tres cuartos de su capacidad (Whitcomb, 1988). Pruebas operativas relacionadas con el efecto de diferentes tiempos de mezclado en el tamaño de las partículas de la turba de musgo, mostraron que el mismo era severamente reducido si el tiempo de mezclado excedía de 5 minutos (cuadro 2.2.16).

Figura 2.2.21 Un sustrato bien mezclado debe tener una composición uniforme, con daños mínimos al tamaño o forma de los componentes originales, en este caso turba de musgo ***Sphagnum*** y vermiculita.

Cuadro 2.2.16 El tamaño de las partículas de la turba de musgo resultó sustancialmente reducido por el sobremezclado en una revolvedora mecánica

	Porcentaje de tamaños de partículas de turba				
	Menores de			Mayores de	
Tiempo Máximo (min)	Tamiz No.20 (0.85 mm)	Tamiz No.16 (1.18 mm)	Tamiz No.10 (2.00 mm)	Tamiz No.10 (2.00 mm)	Totales
5	59.4	11.3	11.7	17.6	100.0
10	63.8	11.0	8.0	16.6	100.0
15	70.2	10.5	7.9	11.4	100.0
20	73.5	8.2	7.0	11.3	100.0
25	76.4	8.3	6.6	8.7	100.0

Fuente: McDonald (1989).

2.2.7 La Importancia de una Compactación Adecuada del Medio de Crecimiento

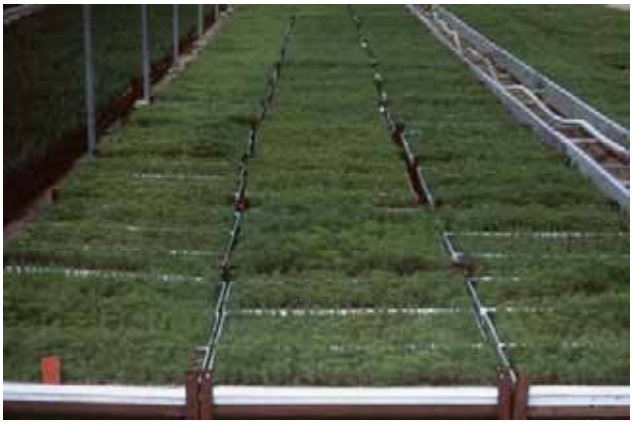
El llenado de los contenedores con el sustrato es un proceso crítico. Es importante alcanzar el grado adecuado de compactación del medio, porque uno pobremente compactado puede reducir las propiedades culturales de incluso el mejor medio de crecimiento. La compactación insuficiente rara vez representa un problema y puede ser detectada y corregida con facilidad. No obstante, la sobrecompactación es más común debido al mezclado excesivo, o a la compresión excesiva, sea mecánica o manual, durante el proceso de llenado de los contenedores (Bunt, 1988).

La sobrecompactación puede tener varios efectos en las propiedades físicas, químicas y biológicas de un medio de crecimiento. Aunque la porosidad total es naturalmente menor en un medio compactado, el efecto más importante es la reducción o aún la eliminación de los poros grandes que controlan la aireación y el drenaje (Bunt, 1988). En estudios realizados con coníferas cultivadas en sustratos basados en turba, que fueron comprimidos a densidades distintas, Mitchell *et al*. (1972) encontraron que la actividad radical varió en forma inversamente proporcional a la compactación de la turba.

El grado ideal de compactación del medio puede variar según su tipo, el tipo de contenedor y las prácticas de riego de cada vivero. Matthews (1983), recomienda una densidad para el medio de cultivo de 0.1 g/cm^3 de volumen utilizable, en el contenedor para bloques de poliestireno expandido (Styrofoam blocks). Hocking y Mitchell (1975), estudiaron los efectos de la densidad del sustrato en contenedores de turba moldeada (extruded peat containers), y hallaron que el valor de 0.2 g/cm^3 proporcionó el mejor crecimiento de las plantas. Los viveristas que producen en contenedor, deben conducir pruebas operativas a efecto de determinar la más adecuada densidad para el medio de crecimiento, bajo las condiciones de su propio vivero.

La compactación del medio es difícil de evaluar en los pequeños contenedores de los viveros forestales, y actualmente no hay una técnica confiable para su medición en tal condición. No obstante, varias observaciones directas pueden ser de utilidad para la evaluación de la compactación del medio de crecimiento. A causa del incremento en la densidad, resultante en los medios compactados, los contenedores que estén más pesados, posiblemente estén compactados. Durante el proceso de llenado, el sustrato debe asentarse después de que el contenedor es agitado o golpeado suavemente sobre la mesa. En contenedores adecuadamente llenados, el medio debe sentirse suelto al tacto. Obviamente, la evaluación de la compactación del medio en los contenedores, es un proceso poco preciso que puede ser mejorado únicamente a través de la acumulación de experiencia. Desafortunadamente, un viverista se puede percatar de la existencia de problemas en la compactación del medio hasta que se observan limitaciones en el crecimiento de las plantas, o durante la extracción, cuando son evidentes los cepellones pobremente formados.

El efecto nocivo de la sobrecompactación en el crecimiento de las especies forestales, es con frecuencia sutil y difícil de diagnosticar, a causa del sinnúmero de efectos de la compactación sobre el complejo ambiente de la raíz en un contenedor. Otro factor que complica la diagnosis es la variación en el grado de compactación que puede presentarse entre diferentes bloques o contenedores, o incluso entre las celdas de un mismo contenedor, lo cual produce un mosaico de plantas normales y de plantas con síntomas de problemas (fig. 2.2.22A). Los síntomas de daño a la raíz a causa de una compactación excesiva del sustrato, pueden incluir clorosis en las hojas, caída de hojas, oscurecimiento de la raíz y eventualmente la muerte. Debido a que este problema afecta primero la función radical, los síntomas iniciales de compactación pueden mimetizar tensión hídrica, exceso de humedad o inclusive deficiencias nutricionales. La toma de nutrientes minerales es obstaculizada, cuando las raíces no están funcionando adecuadamente debido a la sobrecompactación del sustrato; la clorosis por falta de hierro es sólo uno de los desórdenes nutricionales que pueden desarrollarse (Faber, 1982). Las raíces que se han debilitado en los medios sobrecompactados, son particularmente susceptibles a hongos fitopatógenos oportunistas como ***Phytium* spp**. o ***Fusarium* spp**. (fig. 2.2.22B). Langerud (1986), reporta una enfermedad de la raíz que provoca mortandad de plántulas en contenedores, la cual fue atribuida a la escasa porosidad del medio de crecimiento.



A

B

Figura 2.2.22 Una compactación excesiva del sustrato puede causar una reducción en la porosidad de aireación, resultando en un patrón variable de crecimiento de las plantas **(A);** los sistemas radicales se hinchan, escasean las raíces finas y las micorrizas, y con frecuencia son infectados por hongos fitopatógenos como ***Fusarium*** **spp**. **(B)**

2.2.8 Conclusiones y Recomendaciones

La selección de un sustrato, es una de las más importantes decisiones en el cultivo de plantas de especies forestales en contenedor. Las características físicas, químicas y biológicas del medio de crecimiento, afectan no solamente el crecimiento de la planta, también influyen en otros aspectos de la operación del vivero. Por tanto, los viveristas que producen en contenedor deben considerar cuidadosamente tanto los aspectos biológicos como los operativos, cuando evalúan diferentes tipos de sustratos.

La decisión de comprar una marca comercial de sustrato o de realizar una mezcla hechiza, dependerá de muchos factores, incluyendo la disponibilidad de los componentes y del equipo de mezclado, así como la envergadura de la operación en el vivero. Están disponibles diferentes marcas comerciales de sustratos de buena calidad, pero para un completo control de calidad, el viverista debe considerar una mezcla hechiza de sus propios sustratos.

Tanto en la compra de un sustrato como en la mezcla hechiza, la selección de los componentes del medio de crecimiento es crítica. Para la producción de plantas forestales en Norteamérica, un sustrato consistente de turba de musgo ***Sphagnum*** y de vermiculita es recomendable, siempre y cuando tales materiales estén disponibles y tengan un precio razonable. La proporción de turba de musgo y vermiculita sobre una base en volumen, puede ser de 1:1 a 1:3. La turba de musgo del tipo más grueso debe ser utilizada siempre que sea posible, y también son preferibles los tipos más gruesos de la vermiculita. Una baja proporción de perlita (10 a 30%) puede ser substituto de una parte de la vermiculita, si se desea obtener un medio mejor drenado. La corteza, especialmente la de pino ya composteada, ha demostrado ser promisoria como componente de los sustratos en aplicaciones hortícolas, pero se necesita de más información acerca de este material en los viveros forestales. La sustitución de la turba de musgo por materiales orgánicos alternativos, debe ser emprendida con cautela, y únicamente deben ser considerados materiales orgánicos composteados.

Usualmente, los correctores químicos para los sustratos no están garantizados. La incorporación de piedra caliza u otros materiales fertilizantes dentro del medio de crecimiento no es recomendable, a menos que se disponga de técnicas de fertilización convencionales. Si es posible, el pH y los niveles de los nutrientes minerales deben de ser controlados a través de la inyección de fertilizantes ácidos en el sistema de riego. Aunque muchos componentes son considerados estériles, los viveristas deben analizar rutinariamente sus sustratos para detectar si existen hongos fitopatógenos.

Debido a que el medio de crecimiento es solamente uno de toda una serie de factores culturales interrelacionados, que afectan el crecimiento de la planta en un vivero, el viverista prudente debe considerar la situación general antes de tomar alguna decisión, acerca de la economía de alguna práctica en particular. La combinación de las prácticas de cultivo que produzca la mejor calidad de planta, en el menor período de tiempo, y a un costo aceptable, será la más económica en la evaluación final. Los ensayos operativos a pequeña escala para probar nuevos tipos de sustratos siempre son recomendables; si los resultados de las pruebas parecen promisorios, entonces el medio podrá ser utilizado a gran escala.

2.2.9 Literatura Citada

Adams, J.C.; Lockaby, B.G. 1987. Commercially produced super absorbent material increases water-holding capacity of soil medium. Tree Planters' Notes 38(1):24-25.

Baker, K.F. 1985. Development of nursery techniques. International Plant Propagators' Society Combined Proceedings 34:152-164.

Barnett, J.P. 1977. Effects of soil wetting agent concentration on southern pine seed germination. Southern Journal of Applied Forestry 1(3):14-15.

Barnett, J.P.; Brissette, J.C. 1986. Producing southern pine seedlings in containers. Gen.Tech.Rep.SO-59. New Orleans, LA: USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 71 p.

Bartok, J.W.,jr. 1985. Media mixing systems offer efficiency, variety. Greenhouse Manager 4(8): 108-110, 112-113.

Beardsell, D.V.; Nichols, D.G.; Jones, D.L. 1979. Physical properties of nursery potting-mixtures. Scientia Horticulturae. 11:1-8.

Bethke, C.L. 1986. Systematic approach solves grower problems. Greenhouse Manager 4(11): 171, 173-174, 177.

Biamonte, R.L. 1982. Domestic vermiculite for horticultural use. Bull. TTB-104. Fogelsville, PA: W.R. Grace and Co., Horticultural Products. 6 p.

Bilderback, T.E. 1982. Container soils and soilless media. In: Nursery Crops Production Manual. Raleigh, NC: North Carolina State University, Agricultural Extension Service. 12 p.

Black, C.H. 1988. Interaction of phosphorus fertilizer form and soil medium on Douglas-fir seedling phosphorus content, growth and photosynthesis. Plant and soil 106(2): 191-199.

Bluhm, W.L. 1978. Peat, pests, and propagation. International Plant Propagators' Society Combined Proceedings 28:66-70.

Bragg, N.C.; Chambers, B.J. 1988. Interpretation and advisory applications of air-filled porosity (AFP) measurements. Acta Horticulturae 221:35-44.

Bugbee, G.J.; Frink, C.R. 1986. Aeration of potting media and plant growth. Soil Science 141(6): 438-441.

Bunt, A.C. 1988. Media and mixes for container-grown plants. Boston: Unwin Hyman. 309 p.

Carlson, L.W. 1983. Guidelines for rearing containerized conifer seedlings in the Prairie Provinces. Info. Rep. NOR-X-214E. Edmonton, AB: Canadian Forestry Service, Northern Forest Research Centre. 64 p.

Chong, C.; Cline, R.A.; Rinker, D.L. 1988. Spent mushroom compost and papermill sludge as soil amendments for containerized nursery crops. Combined Proceedings of the International Plant Propagators' Society 37:347-353.

Chrustic, G.A.; Wright, R.D. 1983. Influence of liming rate on holly, azalea, and juniper growth in pine bark. Journal of the American Society for Horticultural Science 108(5): 791-795.

Colombo, S.J.; Smith, W.A. 1988. Response of containerized black spruce and jack pine seedlings to fertilization rate and growing medium. For. Res. Rep. 116. Maple, ON: Ontario Ministry of Natural Resources, Ontario Tree Improvement and Forest Biomass Institute. 15 p.

Dangerfield, J.A. 1978. Influence of lime incorporated in soil mix on growth of Douglas-fir. Canadian Forestry Service Bi-monthly Research Notes 34(1): 1-2.

Davidson, H.; Mecklenberg, R. 1981. Nursery management: administration and culture. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc. 450 p.

Digat, B. 1988. The bacterization of horticultural substrates and its effects on plant growth. Acta Horticulturae 221:279- 288.

Erazo, F. 1987. Super absorbent hydrogels and their benefits in forestry applications. Landis, T.D., tech. coord. Meeting the Challenge of the Nineties: Proceedings, Intermountain Forest Nursery Association. 1987 August 10-14; Oklahoma City, OK. Gen. Tech. Rep. RM-151. Ft. Collins, CO: USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station: 14-17.

Faber, W.R. 1982. Don't beat it to death. Ohio State Flower Growers Hotline, April 28.

Garren, T. R.; Landis, T. D.; Campbell, S. J. 1989. Methyl bromide fumigation of containers filled with growing media. In: Landis, T.D., tech. coord. Proceedings, Intermountain Forest Nursery Association; 1989. August 14-18; Bismarck, ND. Gen. Tech. Rep. RM-184. Fort Collins, CO: USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station: 43-48.

Gates, W. 1986. Personal communication. Victoria, BC: British Columbia Ministry of Forest, Silviculture Branch.

Gessert, G. 1976. Measuring air space and water holding capacity. Ornamentals Northwest 3:59-60.

Gladon, D. 1988. Amendments and media. Container grower: news and notes. Fall 1988. Ames, IA: Iowa State University of Science and Technology, Department of Forestry. 10 p.

Goodwin, O.C. 1975. Greenhouse container seedling production manual. For. Note 19. Raleigh, NC: North Carolina Forest Service. 23 p.

Handreck, K. A.; Black, N. D. 1984. Growing media for ornamental plants and turf. Kensington, NSW, Australia: New South Wales University Press. 401 p.

Harlass, S. 1984. Uncover answers to media guessing game. Greenhouse Manager 3(5): 102-104, 106-107.

Hartman, H. T.; Kester, D. E. 1983. Plant propagation: principles and practices. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc. 727 p.

Havis, J. R.; Hamilton, W. W. 1976. Physical properties of container media. Journal of Arboriculture 2(7): 139-140.

Hellum, A.K. 1975. Selecting peat for rearing coniferous container seedlings. Forestry Chronicle 51:200-202.

Hocking, D.; Mitchell, D.L. 1975. The influences of rooting volume-seedling espacement and substratum density on greenhouse growth of lodgepole pine, white spruce, and Douglas-fir grown in extruded peat cylinders. Canadian Journal of Forest Research 5:440-451.

Hoitink, H.A.J. 1980. Composted bark, a lightweight growth medium with fungicidal properties. Plant Disease 64(2): 142-147.

Hoyle, M. C. 1982. Economical and simple production of containerized hardwood seedlings. Res. Pap. NE-500. Broomall, PA: USDA Forest Service, Northeastern Forest and Range Experiment Station. 12 p.

Husted, L.D. 1988. Douglas-fir dieback. In: Landis, T.D., tech. coord. Proceedings, combined meeting of the Western Forest Nursery Associations; 1988 August 8-11; Vernon, BC. Gen. Tech. Rep. RM-167. Ft. Collins, CO: USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station: 161-163.

James, B. L. 1987. Propagation media: what a grower needs to know. Combined Proceedings, International Plant Propagators' Society Meeting 36:396-399.

Johnson, P. 1968. Horticultural and agricultural uses of sawdust and soil amendments. National City, CA: Paul Johnson. 46 p.

Joiner, J. N.; Conover, C. A. 1965. Characteristics affecting desirability of various media components for production of container-grown plants. Proceedings of the Soil and Crop Science Society of Florida 25:320-328.

Judd, R. W., Jr. 1984. Making soilless mixes not without its problems. Greenhouse Manager 3(2): 135, 137.

Judd, R. W., Jr. 1983. Soilless mixes for nursery production. Journal of Environmental Horticulture 1(4): 106-109.

Kuhns, L. J. 1985. Fertilizing woody ornamentals. University Park, PA: Pennsylvania State University, College of Agriculture. 16 p.

Kusey, W. 1989. Beware of hidden costs in mixing your own media. Greenhouse Manager 8(5): 134, 136, 138, 141.

Lackey, M.; Alm, A. 1982. Evaluation of growing media for culturing containerized red pine and white spruce. Tree Planters' Notes 33(1): 3-7.

Langerud, B. R. 1986. A simple in situ method for the characterization of porosity in growth media. Plant and Soil 93(3): 413-425.

Langerud, B. R.; Sandvik, M. 1988. Physical conditions in peat/perlite mixtures subjected to different irrigation regimes. Acta Horticulturae 221:363-370.

Lehtovaara, J.; Herranen, M.; Nyronen, T.; Oy, y.; McDonald, A. 1988. IR-spectroscopy as an analytical method for identification of horticultural peat. Acta Horticulturae 221:153-160.

Lennox, T.L.; Lumis, G.P. 1987. Evaluation of physical properties of several growing media for use in aerial seeding containers. Canadian Journal of Forest Research 17:165-173.

Lippitt, L. 1989. Personal communication. California Department of Forestry and Fire Protection, L.A. Moran Reforestation Center, Davis, CA.

Lucas, R. E.; Rieke, P. E.; Farnham, R. S. 1965. Peats for soil improvement and soil mixes. Farm Sci. Ser. Ext. Bull. 516. Lansing, MI: Michigan State University, Cooperative Extension Service. 11 p.

Maronek, D.M.; Studebaker, D.; Oberly, B. 1986. Improving media aeration in liner and container production. International Plant Propagators' Society Combined Proceeding 35:591-597.

Mastalerz, J. W. 1977. The greenhouse environment. New York: John Wiley and Sons. 629 p.

Matkin, O. A.; Chandler, P. A. 1957. The U.C.-Type soil mixes. In: Baker, Kenneth F., ed. The U.C. System for producing healthy container-grown plants. Ext. Serv. Man. 23. Parramatta, Australian Nurserymen's Association [First printed by the University of California, Division of Agricultural Sciences, California Agricultural Experiment Station]: 68-85.

Matthews, R. G. 1983. Seedling production for Crown Lands in British Columbia: guidelines for commercial container nurseries. Victoria, BC: British Columbia Ministry of Forests, Silviculture Branch. 45 p.

McDonald, A. 1989. Personal communication. Silviculture Branch, British Columbia Ministry of Forestry, Victoria, BC.

Milbocker, D. 1987. Pine bark shows promise for plugs. Greenhouse Manager 5(11): 12.

Milks, R. R.; Fonteno, W. C.; Larson, R. A. 1989. Hydrology of horticultural substrates: III. Predicting air and water content of limited-volume plug cells. Journal of the American Society for Horticultural Science 114(1): 57-61.

Mitchell, D .L.; Hocking, D.; Kay, W. C. 1972. Extruded peat cylinders: their physical characteristics as affecting tree seedling growth and greenhouse drought tolerance. Canadian Journal of Forest Research 2:479-486.

Miyasaka, S. C.; Okazaki, E. N.; Bartholomew, D. P. 1983. The effect of lime and micronutrients on ***Eucalyptus saligna*** Sm. seedling growth. Res. Ser. 025. Honolulu: University of Hawaii, College of Tropical Agriculture and Human Resources. 11 p.

Moore G. 1988. Perlite: start to finish. International Plant Propagators' Society Combined Proceedings 37:48-52.

Nelson, W.R. 1989. Personal communication. Starke Ayres. Pietermaritzburg, South Africa.

Nelson, P. V. 1978. Greenhouse operation and management. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc. 598 p.

Pawuk, W. H. 1981. Potting media affect growth and disease development of container-grown southern pines. Res. Note SO-268. New Orleans, LA: USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 4 p.

Peck, K. 1984. Peat moss and peats. Hummert's Quarterly 8(3): 1, 4-5.

Perlite Institute. 1983. Typical chemical and physical properties of perlite. Tech. Data sheet 1-1. New York. 2 p.

Poincelot, R. P. 1972. The biochemistry and methodology of composting. Bull. 727. New Haven, CT: Connecticut Agricultural Experiment Station. 38 p.

Pokorny, F. A. 1987. Available water and root development within the micropores of pine bark particles. Journal of Environmental Horticulture 5(2): 89-92.

Pokorny, F. A. 1979. Pine bark container media: an overview. International Plant Propagators' Society Combined Proceedings 29:484-495.

Puustjarvi, V. 1975. Peat in horticulture. In: Organic materials as fertilizers. Soils Bull. 27. Rome: FAO: 1303-145.

Puustjarvi, V.; Robertson, R. A. 1975. Physical and chemical properties. In: Peat in horticulture. London: Academic Press. 170 p.

Sanderson, K. C. 1983. Growing with artificial media: the advantages. Southern Florist and Nurseryman 96(20): 13-14, 16-17.

Scagel, R .K. 1989. Personal communication. Pacific Phytometric Consultants, Surrey, BC.

Scagel, R. K.; Davis, G. A. 1988. Recommendations and alternative growing media for use in containerized nursery production of conifers: some physical and chemical properties of media and amendments. In: Landis, T. D., tech. coord. Proceedings, combined meeting of the Western Forest Nursery associations; 1988 August 8-11; Vernon, BC. Gen. Tech. Rep. RM-167. Ft. Collins, CO-USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station: 60-65.

Scarratt, J. B. 1986. An evaluation of some commercial soluble fertilizers for culture of jack pine container stock. Inf. Rep. O-X-377. Sault Ste. Marie, ON-Canadian Forestry Service, Great Lakes Forestry Service. 21 p.

Simpson, D. G. 1985. Growing conifer seedlings in woodwaste-sewage sludge compost. Res. Note 98. Victoria, BC: British Columbia Ministry of Forests. 18 p.

Spomer, L. A. 1975. Availability of water absorbed by hardwood bark soil amendment. Agronomy Journal 67:589-590.

Stewart, N. 1986. Production of bark for composts. International Plant Propagators' Society, Combined Proceedings 35:454-458.

Swanson, B. T. 1989. Critical physical properties of container media. American Nurseryman 169 (11): 59-63.

Tinus, R. W. 1974. Characteristics of seedlings with high survival potential. In: Tinus, R. W.; Stein, W. I.; Balmer, W .E., eds. Proceedings, North American Containerized Forest Tree Seedlings Symposium; 1974 August 26-29; Denver, CO. Pub. 68. Great Plains Agricultural Council: 276-282.

Tinus, R. W.; McDonald, S. E. 1979. How to grow tree seedlings in greenhouses. Gen. Tech. Rep. RM-60. Ft. Collins, CO: USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 256 p.

Van Eerden, E. 1974. Growing season production of western conifers. In: Tinus, R. W.; Stein, W. I.; Balmer, W. E., eds. Proceedings, North American Containerized Forest Tree Seedling Symposium; 1974 August 26-29; Denver, CO. Pub. 68. Great Plains Agricultural Council: 93-103.

Ward, J.; Bragg, N. C.; Chambers, B. J. 1987. Peat-based composts: their properties defined and modified to your needs. International Plant Propagators' Society Combined Proceedings 36:288-292.

Whitcomb, C. E. 1988. Plant production in containers. Stillwater, OK: Lacebark Publications. 633 p.

Williams, B. J.; Peterson, J. C.; Utzinger, J. D. 1988. Liming reactions in ***Sphagnum*** peat-based growing media. Journal of the American Society for Horticultural Science 113(2): 210-214.

Wilson, G. C. S. 1985. Effects of additives to peat on the air and water capacity. Acta Horticulturae 172:207-209.

Wolffhechel, H. 1988. The suppressiveness of ***Sphagnum*** peat to ***Pythium*** **spp**. Acta Horticulturae 221: 217-222.

Worrall, R. 1976. The use of sawdust in potting mixes. International Plant Propagators' Society Combined Proceedings 26:379-381.

Índice de Nombres Científicos y Comunes

Árboles

	Páginas
Fresno	
Fraxinus pennsylvanica Marsh (green ash)	**32,33**
Ciprés Calvo	
Taxodium distichum (L.) Rich. ***var. distichum*** (baldcypress)	**10**
Abedul	
Betula alleghaniensis Britton (yellow birch)	**71**
Casuarina	
Casuarina spp.	**26,39**
"Cedro"	
Chamaecyparis nootkatensis (D. Don) Spach (Alaska cedar)	**14**
Libocedrus decurrens Torr (Incense-cedar)	**65**
Thuja plicata Donn ex D. Don (western redcedar)	**14,32,65**
Pseudotsuga	
Pseudotsuga menziesi (Mirb.) Franco (Douglas fir)	**9,10,32,47,65,79**
Eucaliptos	
Eucalyptus saligna Sm. (saligna eucalyptus)	**66,79,88**
E. microcorys F. Muell. (tallowwood eucalyptus)	**66**
E. pilularis Sm. (blackbutt eucalyptus)	**66**
E. andrewsii	**66**
E. radiata	**66**
Abetos	
Abies concolor (Gord. & Glend) Lindl. ex Hildebr (white fir)	**65**
A. amabilis Dougl. ex Forbes (pacific silver fir)	**32**
Abeto americano	
Tsuga heterophylla (Raf.) Sarg. (western hemlock)	**32**
Alerce	
Larix occidentalis Nutt. (western larch)	**14,15**
Encino	
Quercus spp. (red oak)	**32,33**
Sequoia	
Sequoia sempervirens (D. Don) Endl. (redwood)	**65**
Pinos	
Pinus caribaea Mill (caribbean pine)	**32**
P. banksiana Lamb. (jack pine)	**12,25,72**
P. jeffreyi Grev. & Balf. (jeffrei pine)	**25**
P. taeda L. (loblolly pine)	**8,11,12,29,36**
P. contorta Dougl. ex Loud. (lodgepole pine)	**5,6,8,9,31,32,33**
P. palustris Mill. (longeleaf pine)	**8,12**

Índice de Nombres Científicos y Comunes (continuación)

Páginas

P. ponderosa Dougl ex Laws. (ponderosa pine) **32,33,60,65**
P. resinosa Ait. (red pine) **25,74,75**
P. elliottii Engelm. (slash pine) **12**

Piceas
Picea mariana (Mill.) B.S.P. (black spruce) **72**
P. glauca (Moench) Voss (white spruce) **5,8,9**
P. sitchensis (Bong.) Carr. (Sitka spruce) **31**

Nogal
***Juglans* spp**. (walnut) **65**

Otros

Plagas
***Fusarium* spp.** **47,66,83,84**
***Pythium* spp.** **57,66,89**
Botrytis cinerea Pers. Fr. (grey mold) **10,29**

Turba
Hypnum spp. **56,62,63**
Polytrichum spp. **62**
Sphagnum cuspidatum **63**
S. fuscum **62**

Esta publicación contó con la **autorización y apoyo correspondiente** del Servicio Forestal, del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

La edición e impresión de este manual corrió a cargo de la **Dirección General del Programa Nacional de Reforestación**

Tiraje: 1,000 ejemplares

Octubre del 2000